

- Digitalisierte Fassung im Format PDF -

Handbuch der Morphologie der wirbellosen Tiere

Arnold Lang

Die Digitalisierung dieses Werkes erfolgte im Rahmen des Projektes BioLib (www.BioLib.de).

Die Bilddateien wurden im Rahmen des Projektes Virtuelle Fachbibliothek Biologie (ViFaBio) durch die [Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg \(Frankfurt am Main\)](#) in das Format PDF überführt, archiviert und zugänglich gemacht.

Tr 361²

- 1, 1-3 -

Tr361-1, 1/3+2



T+R361-1/L1/03/K2

4
1, 1-
HANDBUCH
DER
MORPHOLOGIE
DER WIRBELLOSEN TIERE

Alle Tauschil
BEARBEITET VON

Dr. CARL BÖRNER, St. Julien bei Metz; Prof. E. BUGNION, Blonay
s. Vevey; Dr. MARIE DAIBER, Zürich; Prof. W. GIESBRECHT, Neapel;
Prof. VALENTIN HAECKER, Halle a. S., Prof. KARL HESCHELER, Zürich;
Prof. ARNOLD LANG, Zürich; Prof. M. LÜHE, Königsberg; Prof. O. MAAS,
München; Dr. S. TSCHULOK, Zürich und Dr. J. WILHELMI, Berlin-Steglitz

HERAUSGEGEBEN VON

ARNOLD LANG
ZÜRICH

ZWEITE BEZW. DRITTE AUFLAGE
VON ARNOLD LANG'S LEHRBUCH DER VERGLEICHENDEN
ANATOMIE DER WIRBELLOSEN TIERE

ERSTER BAND. PROTOZOA

Erste Lieferung

Mit 156 Abbildungen im Text

Inhalt:

Protozoa (Urtiere). Von Prof. Max Lühe, Königsberg i. Pr.
(S. 1—160; Abbild. 1—156)



JENA
VERLAG VON GUSTAV FISCHER
1913

Handbuch der Morphologie der wirbellosen Tiere. Bearbeitet von Dr. Carl Börner, St. Julien bei Metz; Prof. E. Bugnion, Blonay s. Vevey; Dr. Marie Daiber, Zürich; Prof. W. Giesbrecht, Neapel; Prof. Valentin Haecker, Halle a. S.; Prof. Karl Hescheler, Zürich; Prof. Arnold Lang, Zürich; Prof. M. Lühe, Königsberg; Prof. O. Maas, München; Dr. S. Tschulok, Zürich und Dr. J. Wilhelmi, Steglitz-Berlin. Herausgegeben von **Arnold Lang**, Zürich. Zweite bzw. dritte Auflage von Arnold Lang's Lehrbuch der vergleichenden Anatomie der wirbellosen Tiere.

Das Handbuch der Morphologie soll in 6 Bänden und in Lieferungen von durchschnittlich 10 Bogen Umfang erscheinen. Für die Art der Behandlung ist den Herren Mitarbeitern möglichst enge Anlehnung an die Abteilungen Protozoa und Mollusca der zweiten Auflage des „Lehrbuches der vergleichenden Anatomie der wirbellosen Tiere“ anempfohlen worden.

Preis jeder Lieferung 5 Mark.

Der Stoff wird sich auf die 6 Bände in folgender Weise verteilen.

- Band I: Protozoa. Bearbeitet von Prof. Max Lühe in Königsberg.
Band II: Metazoen. Bearbeitet von Dr. S. Tschulok in Zürich, Prof. Val. Haecker in Halle a. S., Prof. Arnold Lang in Zürich.
Band III: Mesozoen und Zoophyten. Bearbeitet von Prof. O. Maas in München. — Platen (incl. Nemertinen). Bearbeitet von Dr. J. Wilhelmi in Berlin-Steglitz. — Würmer. Bearbeitet von Prof. K. Hescheler in Zürich.
Band IV: Arthropoden. Bearbeitet von Prof. W. Giesbrecht in Neapel, Prof. E. Bugnion in Lausanne, Dr. Marie Daiber in Zürich, Dr. Carl Börner in St. Julien-Metz.
Band V: Mollusca. Bearbeitet von Prof. K. Hescheler in Zürich.
Band VI: Echinodermen und Enteropneusten. Bearbeitet von Prof. Arnold Lang und Prof. K. Hescheler in Zürich.

Bis Mai 1913 ist erschienen:

- Erster Band. Erste Lieferung. Mit 156 Abbildungen im Text.
Zweiter Band. Erste Lieferung. Mit 90 Abbildungen im Text.
Dritter Band. Erste Lieferung. Mit 104 Abbildungen im Text.
Vierter Band. Erste u. zweite Lieferung. Mit 275 u. 141 Abbild. im Text.

Acanthocephali. — Register der Acanthocephalen und parasitischen Plattwürmer, geordnet nach ihren Wirten. Bearbeitet von **Max Lühe**, Königsberg i. Pr. Mit 87 Abbildungen im Text. (Süßwasserfauna Deutschlands. Heft 16.) 1911.

Preis: 3 Mark, geb. 3 Mark 50 Pf.

Parasitische Plattwürmer. Von **Max Lühe**, Königsberg i. Pr.

- I: Trematodes. Mit 188 Abbildungen im Text. (Süßwasserfauna Deutschlands. Heft 17.) 1909. Preis: 5 Mark, geb. 5 Mark 50 Pf.
II: Cestodes. Mit 174 Abbildungen im Text. (Süßwasserfauna Deutschlands. Heft 18.) 1910. Preis: 4 Mark, geb. 4 Mark 50 Pf.

Die europäischen Schlangen. Kupferdrucktafeln nach Photographien der lebenden Tiere Von Dr. med. **Fritz Steinheil**.

Erstes Heft: Tafel 1. Col. Quatuorlineatus var. sauromates Pall. — Tafel 2. Trop. natrix var. Persa Pall. — Tafel 3. Col. Leopardinus Bonap. — Tafel 4. Col. Leopardinus Bonap. — Tafel 5. Zamenis Dahlii Sav. (XII, 6 S. Text.) 4^o. 1913. Preis: 3 Mark.

Naturwahre und zugleich wissenschaftlich brauchbare Abbildungen von Schlangen waren bisher auch in naturwissenschaftlichen Werken selten. Diese Lücke auszufüllen, unternimmt der Verfasser in der vorliegenden Bildersammlung, die mit ganz besonderer Mühe und Sorgfalt hergestellt ist und beachtenswert Neues bietet. Die Heliogravüren sind von verblüffender Schönheit und stellen alles bisher auf diesem Gebiet Veröffentlichte in den Schatten. In gewissen Zeitabständen wird diese Sammlung, die natürlich auch durch Text erläutert wird, fortgesetzt und so, ohne auf einmal das Budget zu stark zu belasten, allen Reptilienforschern, Aquarien- und Terrarienfreunden eine besonders erwünschte Bereicherung ihrer Bibliothek sein.

Metamorphose der Muraenoiden. Systematische und ökologische Untersuchungen von Dr. **Battista Grassi**, ord. Professor der vergleichenden Anatomie an der Universität Rom. Mit 15 Tafeln und 8 Figuren im Text. [Text (X, 211 S.) italienisch, Tafelerklärungen (23 S.) italienisch-deutsch.] Erste Monographie des Königl. Italienischen Komitees für Meereskunde. 1913. Gr. Fol.-Form. Preis: 50 Mark.

1925.2528



Erstes Unterreich der Tiere.

Einziger Kreis und Stamm: **Protozoa. Urtiere. Einzellige.**

Von

Prof. **Max Lühe**, Königsberg i. Pr.

Mit zahlreichen Figuren im Text.

A. Einleitung.

1. Die Zelle.

Der Ausgangspunkt alles organischen Lebens und aller organischen Formbildung ist die Zelle. Die einfachsten Organismen, Tiere sowohl (Protozoa) wie Pflanzen (Protophyta) sind selbständig und unabhängig lebende einzelne Zellen. Auch bei jeder höheren Tier- oder Pflanzenart kehrt mit jeder neuen Generation oder doch wenigstens nach Ablauf einer gewissen Zahl von Generationen ein einzelliges Stadium wieder.

Alle ausgebildeten höheren Organismen (Metazoen und Metaphyten) sind dagegen aus einer größeren Zahl von Zellen zusammengesetzt, die durch wiederholte Fortpflanzung (Teilung) aus einer einzigen Zelle hervorgegangen sind. Charakteristisch für diese den mehr- bis vielzelligen Organismus aufbauenden Zellen ist die weitgehende Arbeitsteilung, die zwischen ihnen aufgetreten ist, und ihr damit zusammenhängender weitgehender Polymorphismus, der zur Entstehung der verschiedenen, von ungleichwertigen Zellen gebildeten Gewebe und Organe des Körpers führt. Trotzdem aber erscheinen diese Zellen noch verhältnismäßig einförmig bei einem Vergleich mit den selbständig lebenden Zellen (Protozoen und Protophyten), die uns in einer geradezu verblüffenden Mannigfaltigkeit entgegen treten und in Anpassung an das selbständige Leben morphologische und physiologische Komplikationen aufweisen, die den unselbständigen Metazoen- und Metaphytenzellen unerreichbar sind.

Im folgenden wollen wir die selbständig lebenden tierischen Zellen, die Protozoen oder Urtiere, untersuchen, die, obwohl vollständige und selbständige Organismen und als solche den Metazoen vergleichbar, doch im Gegensatz zu diesen zeitlebens auf dem Stadium der Einzelligkeit stehen bleiben. Zur vorläufigen Orientierung aber müssen wir zunächst erfahren, was man heute unter einer Zelle versteht.

Die Zelle, deren Name noch aus jener Zeit stammt, in der man die bei manchen Zellen, namentlich bei den meisten Pflanzenzellen vorkommende und sie einschließende Membran als das Wesentliche betrachtete, ohne deren Inhalt zu beachten, ist nach heutiger Auf-

fassung ein (von seinen Nachbarn nicht immer deutlich abgegrenztes) Klümpchen Protoplasma, das in seinem Inneren einen besonders geformten Bestandteil, den Kern (Nucleus), enthält.

1. Das Protoplasma ist eine aus einem komplizierten Stoffgemenge bestehende schleimig-zähflüssige Masse und als solche den Kapillaritätsgesetzen unterworfen. Von diesen Gesetzen sind für die Lebensvorgänge (speziell auch der Protozoen) von Wichtigkeit: 1) die Erscheinungen der Oberflächenspannung, welche die Flüssigkeiten gewissermaßen zusammenzieht, so daß deren Oberflächen Minimalflächen sind, und 2) der Satz von der Konstanz der Randwinkel, den die Flüssigkeitsoberfläche mit einer festen Körperfläche bildet.

Die feinste Organisation des Protoplasmas ist sicher wesentlich komplizierter, als unsere technischen Hilfsmittel zu erkennen gestatten. Die optisch nachweisbaren Strukturen sind in verschiedener Weise gedeutet worden, doch gewinnt BÜTSCHLI'S Auffassung, daß das Plasma eine feinwabige oder schaumige Struktur besitze, immer mehr Anhänger. Durch sie wird auch der gleichzeitige, räumlich getrennte Verlauf verschiedenartiger chemischer Vorgänge im Plasma verständlich, der für das Zustandekommen der Lebensvorgänge eine unentbehrliche Vorbedingung ist.

Die wichtigsten Träger des Lebens im Plasma sind Eiweißsubstanzen (Proteine), die außer Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff vor allem noch Stickstoff und Schwefel enthalten. Neben ihnen scheinen vor allem noch die sog. Lipoiden eine wichtige Rolle zu spielen, d. h. Zellbestandteile, die nach Art von Fetten durch Äther und ähnliche Lösungsmittel (Alkohol, Chloroform, Benzol, Aceton usw.) extrahiert werden können, auch in Saponin, Galle, cholalsäurem und taurocholsäurem Natrium u. dgl. löslich sind; chemisch sind sie außerordentlich verschiedenartig (zum Teil enthalten sie Stickstoff und Phosphor, wie z. B. das Lecithin, zum Teil zwar Stickstoff, aber keinen Phosphor, wie z. B. die Cerebroside, die nicht nur im Gehirn, sondern auch in vielen anderen Zellen vorkommen, zum Teil endlich gleich den Fetten und Fettsäuren keines dieser beiden Elemente, wie z. B. das weitverbreitete Cholesterin); intravital aber scheinen sie trotzdem eine physiologisch-einheitliche Funktion zu haben, indem sie durch ihre Anwesenheit die Lösungsbedingungen für Stoffe, die sonst in Wasser schwer löslich sind, erhöhen (auf ihnen beruht z. B. die Möglichkeit der Narkotisierung) und PROWAZEK (1908 und 1910) führt die Wabenstruktur des Plasmas darauf zurück, „daß in letzter Linie das Protoplasma eine Emulsion von Lipoiden und verschiedenen Eiweißstoffen darstellt. Durch diese Wabenstrukturen, die eine innere Oberflächenentwicklung mit Flächenenergien anbahnen, sowie durch den von der Art abhängigen Lipoidgehalt des Protoplasmas wird in der Zelle selbst eine spezifische, innere Strukturspannung erzeugt, und die untypischen Lipoiden stehen in diesem Sinne im Dienste der Morphe — sie sind gleichsam die Träger der Morphe des ersten Grades.“

Das Protoplasma ist sehr wasserreich und enthält verschiedene Salze. Außer kleineren oder größeren flüssigkeitserfüllten Vakuolen finden sich in ihm stets auch noch andere Produkte seiner Lebens-

tätigkeit (des Stoffwechsels), wie Zucker, Dextrin, Glykogen, Paraglykogen, Fette, Milchsäure, Harnstoffe u. a.

2. Der in der Einzahl, mitunter aber auch in der Mehrzahl in dem Plasma der Zelle liegende Kern ist meist kugelig oder oval, oft genug aber auch ganz anders gestaltet (strangförmig, verästelt usw.). Man unterscheidet an ihm 1) die Kernmembran (mitunter fehlend), 2) das Kerngerüst (Linin), 3) das Chromatin, 4) Plastinsubstanzen und 5) den Kernsaft.

Die Chromatine, welche sich mit gewissen basischen Farbstoffen (z. B. Alaunkarmin, Hämalan) elektiv färben, sind „Nucleoproteide“, Eiweißkörper, deren starksaure Reaktion auf dem Gehalt an Phosphorsäure beruht. Sie finden sich im Kern in verschiedener Anordnung, als Fäden, als kleinere oder größere Körnchen, in Form eines Gerüsts oder auch vereinigt in einem einzigen größeren, fast homogen erscheinenden Körperchen.

Das Linin, das im Gegensatz zum Chromatin eine besondere Affinität zu den sauren, das Protoplasma färbenden Farbstoffen besitzt, durchsetzt den Innenraum des Kernes in Form eines schwammigen Wabenwerkes, dessen Lücken von einer homogenen klaren Flüssigkeit, dem Kernsaft, erfüllt sind, während Chromatin und Plastin vorzugsweise in die Wände der Lininwaben eingelagert sind. Reichlicher Kernsaft bedingt einen bläschenförmigen, spärlicher Kernsaft einen kompakten Bau des Kernes, der dann auch außerordentlich klein werden kann (extremes Beispiel hierfür: Kopf der meisten Spermatozoen).

Das Plastin ist ein (ebenfalls acidophiler) Eiweißkörper, der vornehmlich in Form größerer, in Ein- oder Mehrzahl vorhandener Kügelchen (Kernkörperchen oder Nukleolen) auftritt. Nicht selten findet es sich mit dem Chromatin zu einem verhältnismäßig großen einheitlichen Innenkörper im Kern vereinigt (z. B. Karyosom vieler Protozoen).

3. Außer dem Kern findet sich in vielen Zellen noch ein weiteres spezifisches lebenswichtiges Körperchen, das Centrosoma, welches namentlich bei der Zellteilung eine überaus wichtige Rolle spielt. Es scheint in den Zellen der Metazoen allgemein vorzukommen, in den Zellen der Metaphyten dagegen ebenso allgemein zu fehlen. Innerhalb der Protisten lassen sich verschiedene Differenzierungsgrade eines anscheinend dem Centrosom der Metazoen entsprechenden Gebildes erkennen, die in dem Abschnitt über den Kernapparat der Protozoen zu erwähnen sein werden.

Die Zellmembran, welche das Protoplasma auf seiner Oberfläche abscheiden oder in die sich die oberflächlichste Plasmaschicht verwandeln kann, ist eine Stütz- und Schutzvorrichtung, die sehr häufig fehlt und nicht als wesentlicher Bestandteil der Zelle angesprochen werden darf, obwohl sie ihr ihren Namen eingetragen hat.

Das Leben der Zelle äußert sich zunächst in:

1. Stoffwechsel und formativer Tätigkeit.

a) Jede lebende Zelle hat die fundamentale Tätigkeit der Assimilation, d. h. sie vermag fremde gelöste Substanzen (Nährstoffe) von bestimmter chemischer Zusammensetzung in neue, mit der eigenen übereinstimmende Substanz umzuwandeln, die dann selbst wieder assimilieren kann. Die tierische Zelle vermag im Gegensatz zur

pflanzlichen nur bereits vorgebildete organische Substanzen zu assimilieren, und eine Neubildung eigener Proteinsubstanz kann ohne Zufuhr stickstoffhaltiger organischer Nahrung (Proteinsubstanz) nicht stattfinden. Die Tiere sind also mit Bezug auf ihre Nahrung auf andere Tiere oder, in letzter Linie, auf die Pflanzen angewiesen.

b) Durch die Verdauung werden geeignete feste Fremdkörper (Nahrung) für die Assimilation vorbereitet, indem sie durch chemische Stoffe (Fermente), die alle einzelligen Wesen sowie gewisse Gewebszellen der höheren Tiere absondern, in eine flüssige Form übergeführt werden. Nur flüssige Nährstoffe können assimiliert werden.

c) Durch Sekretion können außer diesen Fermenten von dem Plasma der Zelle auch noch andere bei ihrem Stoffwechsel erzeugte Stoffe abgeschieden werden, aus denen die Zelle besondere Teile bildet, die, ohne selbst aktiv an den Lebenserscheinungen teilzunehmen, doch noch eine wichtige physiologische Bedeutung haben, wie z. B. die Hüllen und Schalen vieler Protozoen.

d) Durch Exkretion entledigt sich die Zelle derjenigen während ihrer Lebenstätigkeit entstandenen Stoffe (Stoffwechselprodukte), die für sie unnütz oder gar schädlich sind (z. B. Harnstoff).

e) Bei der Atmung nimmt die Zelle aus dem umgebenden Medium Sauerstoff auf, dessen sie bedarf, um Proteine und andere im Plasma gebildete Stoffe (Kohlehydrate, Fette) zu oxydieren. Die dabei freiwerdende lebendige Kraft wird in Bewegung oder Wärme umgesetzt. Die bei der Oxydation gebildete Kohlensäure wird wieder ausgeatmet. Der dauernde Zerfall von Körpersubstanz durch Oxydation bedingt die Notwendigkeit der Zufuhr neuer Substanz (Ernährung) für die Aufrechterhaltung des Lebens.

2. Bewegungserscheinungen. Im einfachsten Falle äußern sie sich in einer gegenseitigen Verschiebung der Plasmapartikelchen. Eine solche kann stattfinden, ohne daß dabei die Zelle ihre äußere Gestalt ändert. Sie kann aber auch eine mehr oder weniger weitgehende Veränderung der Zellform herbeiführen. Wenn bei Amöben oder amöboid beweglichen Zellen ein Teil des Plasmas nach einer Richtung gegen die Oberfläche strömt, bildet sich an dieser Stelle ein sich verlängernder Plasmafortsatz, während an einer anderen Stelle durch Zurückströmen von Plasma ein amöboider Fortsatz eingezogen werden kann. Dadurch kommt auch Ortsbewegung zustande.

3. Reizbarkeit. Auf äußere Reize irgendwelcher Art (thermische, elektrische, optische, akustische, mechanische, chemische Reize) reagiert die Zelle in bestimmter Weise (z. B. durch bestimmte Bewegungen, durch bestimmte Veränderungen im Stoffwechsel u. dgl.).

4. Wachstum. Wird bei der Assimilation mehr lebende Substanz gebildet, als beim Stoffwechsel eingebüßt wird, so wächst die Zelle. Diesem Wachstum sind jedoch normalerweise gewisse Grenzen gesetzt, die zwar je nach der Tier- bzw. Pflanzenart und je nach dem Charakter der Zelle sehr verschieden sind, die aber nicht überschritten werden können, ohne daß degenerative Veränderungen eintreten.

5. Fortpflanzung. Die Zelle hat die Fähigkeit, sich nach abgeschlossenem Wachstum zu teilen, wobei auch eine Teilung aller ihrer lebenswichtigen Organe (also außer dem Plasma speziell Kern und Centrosoma) erfolgt. Häufig wird diese Vermehrung der Zellen

durch Teilung als ein Wachstum über das individuelle Maß hinaus betrachtet.

Man unterscheidet verschiedene Arten der Teilung je nach dem Verhalten des Kernes. Die beiden bei Metazoen zu beobachtenden Extreme, zwischen denen speziell bei den Protozoen mannigfache Uebergänge vorkommen, sind die direkte Kernteilung (Kernzerschnürung, Amitose) und die indirekte Kernteilung (Kernsegmentierung, Mitose, Karyokinese).

Teilung der Zelle mit direkter Kernteilung.

Der Kern erfährt bei der Teilung keine Veränderung seiner Struktur, er bekommt einfach, sogar ohne daß seine Membran aufgelöst wird, eine sich allmählich vertiefende Einschnürung an der Stelle der künftigen Teilungsebene, die ihn hantel- oder sanduhrförmig erscheinen läßt. Schließlich reißt die letzte Verbindungsbrücke zwischen beiden Hälften. Der Kernteilung folgt alsbald die Zellteilung, indem auch auf der Oberfläche des Zellkörpers eine allmählich immer tiefer einschneidende Ringfurche auftritt, die schließlich zu einer völligen Durchtrennung der Zelle in zwei Hälften, die beiden Tochterzellen, führt. Jede der beiden Tochterzellen erhält hierbei auch einen der vorher gebildeten Tochterkerne.

Die direkte Kernteilung ist wesentlich seltener als die mitotische (am leichtesten bei den Lymphzellen des Frosches zu beobachten). Auch bei Protozoen ist sie in reiner Form selten (sichergestellt z. B. für das Radiolar *Aulacantha*).

Teilung der Metazoenzelle mit Mitose des Kernes.

1. Prophase (Vorbereitung des Kernes zur Teilung). Das Chromatin des Kernes erfährt eine Umlagerung, wobei es häufig sich zu einem langen, knäueiförmig gewundenen Faden gruppiert, der anfangs, entsprechend seiner Entstehung durch Zusammentritt zahlreicher kleiner Körnchen, noch rauh erscheint (Fig. 1 B), sich aber bald glättet und hierbei gleichzeitig etwas verkürzt und verdickt (C). Seine Färbbarkeit nimmt zu. Das oder die Kernkörperchen werden kleiner und verschwinden schließlich. Der Chromatinfaden zerfällt dann in eine bestimmte Anzahl gleich langer Stücke, die Kernsegmente oder Chromosomen, deren Zahl bei verschiedenen Tierarten verschieden, für die Zellen ein und derselben Tierart dagegen konstant ist.

Während dieser Veränderungen am Kern hat sich das dem Kern benachbarte Centrosom geteilt und ist um das Centrosom herum eine charakteristische radiäre Strahlung im Plasma deutlich geworden, die, anfangs noch einheitlich (B), mit dem Auseinanderrücken der beiden Tochterchromosomen in eine von diesen beiden als Zentren ausgehende Doppelstrahlung übergeht. Der zwischen den beiden Centrosomen gelegene Teil dieser Strahlung, der mit der Zeit immer deutlicher hervortritt, besteht aus achromatischen Fäden, die zusammen die Figur einer Spindel bilden (C).

2. Metaphase (Bildung der Aequatorialplatte). Im Anschluß an die geschilderten Veränderungen erfolgt die Auflösung der Kernmembran (C, D) und von diesem Zeitpunkt an rechnen wir den Beginn der 2. Phase der Kernteilung. Die Centrosomen weichen

immer mehr auseinander unter entsprechender Vergrößerung der Spindel, deren Pole sie einnehmen (daher auch Polkörperchen genannt), bis schließlich die Achse der Spindel mit der größten Achse der ganzen Zelle zusammenfällt (*E—G*). Gleichzeitig verändern auch die Chromosomen ihre Lage; sie nehmen die Form regelmäßiger U-förmiger Schleifen an und ordnen sich in der Aequatorialebene der Spindel in einem regelmäßigen Kreise um die Spindelachse (Aequatorialplatte). Hierbei sind die Winkel der Schleifen gegen

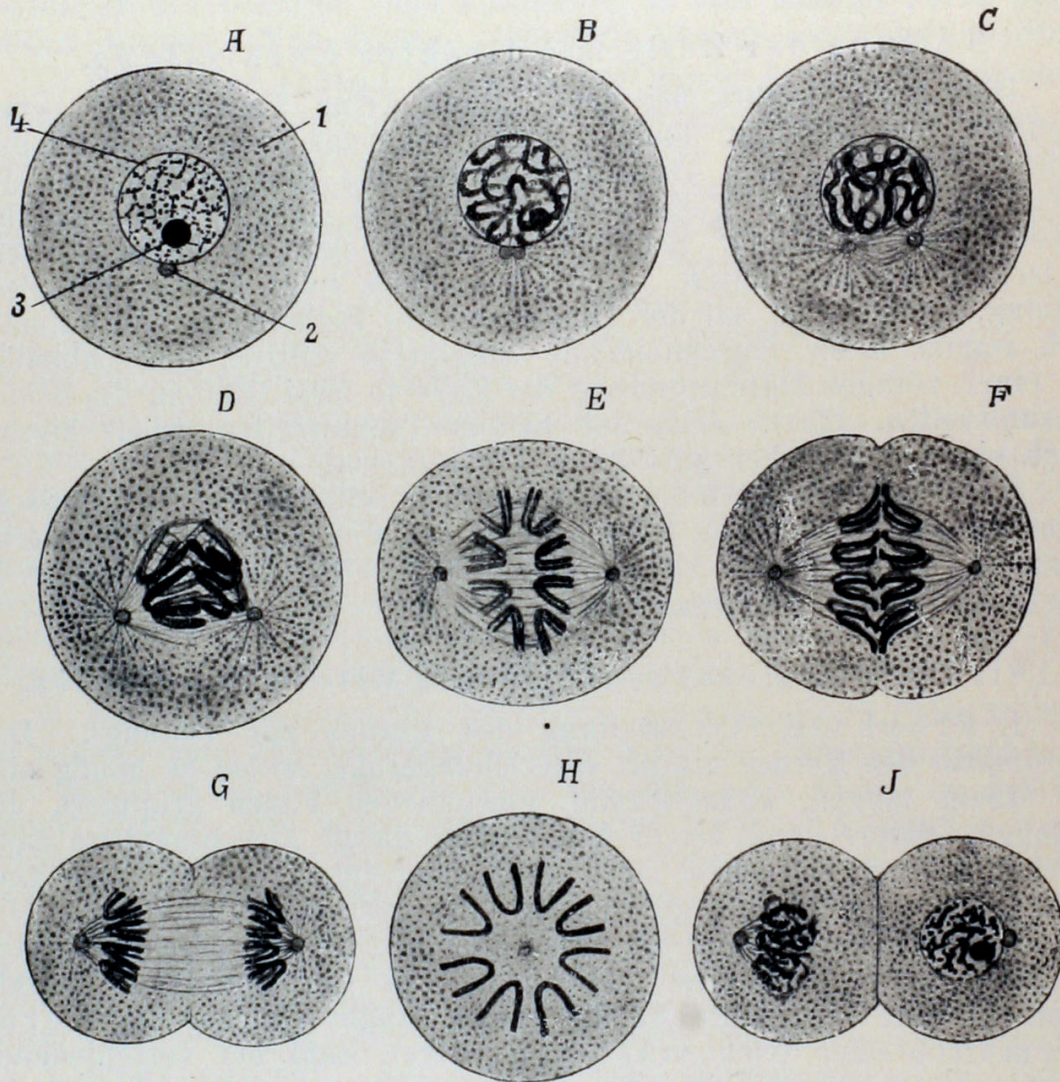


Fig. 1. **Schema der Zellteilung mit mitotischer Kernteilung.** *A* Ruhende Zelle: 1 Protoplasma, 2 Centrosom, 3 Kernkörperchen (Nucleolus), 4 bläschenförmiger Kern mit den Chromatinkörnchen im Liningerüst. *B—C* Prophase. *D—E* Metaphase. *F—G* Anaphase. *H* Aequatorialplatte in Polansicht (optischer Querschnitt). *I* Telophase. Originalabbildung von LANG.

das Zentrum, die beiden freien Enden gegen die Peripherie der Aequatorialebene gerichtet (*E* und *H*). Inzwischen hat sich auch bereits jedes einzelne Chromosom der Länge nach gespalten, die beiden so entstandenen, einander gleichen Tochterchromosomen liegen aber noch durchweg dicht aneinander (*E*).

3. Anaphase (Bildung und Auseinanderrücken der Tochterplatten). Die beiden Tochterchromosomen jedes Paares rücken unter dem richtenden Einfluß der Spindelfasern nach den Polen der Spindel zu auseinander, und zwar beginnt dieser Vorgang an den Winkeln

der Schleifen, um von diesen aus nach den freien Enden der beiden Schenkel zu fortzuschreiten (*F*). Schließlich haben sich die beiden Gruppen von Tochterchromosomen (Tochterplatten) je einem Centrosom dicht genähert, wie wenn sie von ihm angezogen worden wären; beide bleiben aber durch achromatische Fäden, die nahezu parallel der Spindelachse verlaufen, miteinander in Zusammenhang (*G*).

4. Telophase (Rekonstruktion der Tochterkerne). Jede der beiden Tochterplatten macht nunmehr rückläufig ähnliche Veränderungen durch, wie sie in der Mutterzelle von dem ruhenden Kern zur Bildung der Äquatorialplatte führten: die regelmäßige Anordnung der Chromatinschleifen wird aufgegeben, die Schleifen selbst werden unregelmäßig (*J*, linke Zelle), um die ganze Gruppe von Chromosomen herum bildet sich wieder eine Kernmembran und innerhalb dieser nimmt das Chromatin wieder die für den ruhenden Kern charakteristische Anordnung an; auch im übrigen wird die Struktur des ruhenden Kernes durch Neubildung von Kernkörperchen usw. wieder hergestellt (*J*, rechte Zelle).

Gleichzeitig hat sich auch die ganze Zelle geteilt. An ihrer Oberfläche tritt eine äquatoriale Ringfurche auf (*F*), die immer tiefer einschneidet, bis schließlich der ganze Zellkörper in zwei Hälften, die beiden Tochterzellen, geteilt ist (*J*). Zu jeder dieser Tochterzellen gehört ein Centrosom und eine der beiden Gruppen von Tochterchromosomen, die in bereits geschilderter Weise wieder zu einem Kerne zusammentritt. Hat dieser sein Ruhestadium wieder erreicht, so ist der ganze Teilungsvorgang beendet.

Während bei den Metazoen diese mitotische Kernteilung in prinzipiell ähnlicher Weise allgemein verbreitet ist, kommt sie bei Protozoen in ganz typischer Form nicht vor. Wohl finden sich auch bei diesen Kernteilungsbilder, die zum Teil lebhaft an die Mitose der Metazoen erinnern, ohne ihr doch völlig zu entsprechen. Verhältnismäßig am meisten Ähnlichkeit mit der Metazoenmitose werden wir bei Radiolarien (*Aulacantha*) und Heliozoen (*Acanthocystis*) finden, im allgemeinen wiegen aber unter sich verschiedenartige Teilungsformen vor, die mehr oder weniger deutliche Zwischenstufen zwischen der direkten und der indirekten Kernteilung der Metazoen darstellen (vgl. den Abschnitt über den Kernapparat der Protozoen).

Verschiedene Teilungsformen des Zellkörpers.

Betrachten wir nicht, wie bisher, den Kern, sondern den ganzen Zellkörper, so können wir nach dessen Verhalten unterscheiden:

1. Totale Teilung. Es findet eine völlige Durchteilung des Plasmakörpers statt.

a) Äquale Teilung. Die beiden hierbei entstehenden Tochterzellen sind gleich (Beispiele: Zweiteilung der Amöben, 1. und 2. Furchung der meisten Eier u. a.).

b) Inäquale Teilung. Die beiden Tochterzellen sind ungleich (verschieden organisiert und häufig auch etwas verschieden groß) (Beispiele: Zweiteilung der Wimperinfusorien, 3. Furchung des Froscheies u. a.). Sind hierbei auch die beiden Tochterkerne ungleich, so sprechen wir von heteropolarer Kernteilung.

c) Knospung. Die Verschiedenheit beider Tochterzellen, vor allem ihr Größenunterschied ist so groß, daß die eine nur wie ein

kleines Anhängsel an der anderen erscheint (Beispiele: Knospung von *Acanthocystis* und Sauginfusorien, Bildung der Richtungskörperchen bei den Eiern).

2. Partielle Teilung. Die Durchtrennung des Plasmakörpers bleibt unvollständig (Beispiele: Koloniebildung bei Radiolarien und Vorticellen, Anfangsstadien der discoidalen Furchung telolecithaler Eier).

3. Vielkernbildung. Der Kernteilung folgt (wenigstens zunächst) überhaupt keine Teilung des Plasmakörpers, so daß vielkernige Zellen entstehen. Die Zahl der Kerne kann sich hierbei auf mehrere Hundert belaufen (Beispiele: mehr- bis vielkernige Arten oder Entwicklungsstadien von Protozoen, Anfangsstadien der superfiziellen Furchung centrolecithaler Eier, u. a.). Folgt dann später die Teilung des Plasmakörpers nach, so ist dieselbe meist multipel, indem so viel Zellen gebildet werden wie Kerne vorhanden waren (Beispiele: Schizogonie der Coccidien und Malariaparasiten, superfizielle Furchung der Arthropoden, Endospermibildung im Embryosack der Phanerogamen u. a.).

Unterbleibt eine der Zahl der Kerne entsprechende Teilung des Plasmakörpers überhaupt, so nennt man die vielkernigen Plasmamassen **Plasmodien**, wenn sie als größere selbständige Organismen erscheinen (Beispiele: Myxomyceten, Siphoneen — *Caulerpa*, *Vaucheria* u. a.) bzw. **Syncytien**, wenn sie nur Teile höherer Vielzelliger darstellen. Innerhalb der Protozoen ist indessen eine derartige Unterscheidung der vielkernigen Formen (wie z. B. *Actinosphaerium*, *Opalina*) von den einkernigen nicht zweckmäßig, da sie wegen der gleichen Leistungsfähigkeit beider den tatsächlichen Verhältnissen zu wenig entspricht.

2. Protozoa (Urtiere).

Systematische Uebersicht.

I. Unterstamm: **Plasmodroma** (Cytomorpha).

Protozoen mit Pseudopodien oder Geißeln als Bewegungsorganellen und mit einem oder mehreren meist bläschenförmigen Kernen. Kern-dimorphismus ist selten deutlich und, wenn vorhanden, jedenfalls nicht in Form einer Differenzierung von Haupt- und Geschlechtskern. Befruchtung in Form von Kopulation oder (seltener) Autogamie. In der Regel findet sich ein Generationswechsel.

I. Klasse: **Mastigophora**. Geißeltierchen.

Einzeln lebende oder koloniebildende, meist sehr kleine Protozoen mit einer oder zwei (selten mehr) Geißeln (Flagellen), die in erster Linie der freien Bewegung dienen, aber zeitweise (nur bei wenigen parasitischen Formen dauernd) rückgebildet werden können. Fast stets einkernig.

I. Unterklasse: **Flagellata** (Euflagellata) ¹⁾.

Außere Begrenzung des Körpers durch ein wenig differenziertes Ektoplasma oder eine verhältnismäßig feste Plasmamembran (Periplast)

1) Von den hier unterschiedenen Flagellatenordnungen sind mehrere nicht allgemein anerkannt; diese werden aber von verschiedenen Autoren in verschiedener Weise mit

gebildet. Kern bläschenförmig. Die Fortpflanzung erfolgt durch Längsteilung, häufig im beweglichen Zustande, seltener durch gleichzeitigen Zerfall in zahlreiche Tochterindividuen. Vorwiegend Süßwasserbewohner, zum Teil marin oder parasitisch.

1. Ordnung: Rhizomastigina.

Amöbenähnlich, mit deutlichem Ektoplasma und Bewegung durch breitlappige bis fingerförmige Pseudopodien. 1—2 Geißeln entspringen ohne Vermittelung eines Basalkornes direkt aus dem Karyosom des bläschenförmigen Kernes; seltener sind sie vom Kern völlig unabhängig. *Mastigamoeba* (Fig. 224), *Mastigina* (Fig. 2), *Cercobodo* (mit 2 Geißeln), *Mastigella* (mit einer oder mehreren, vom Kern unabhängigen Geißeln).

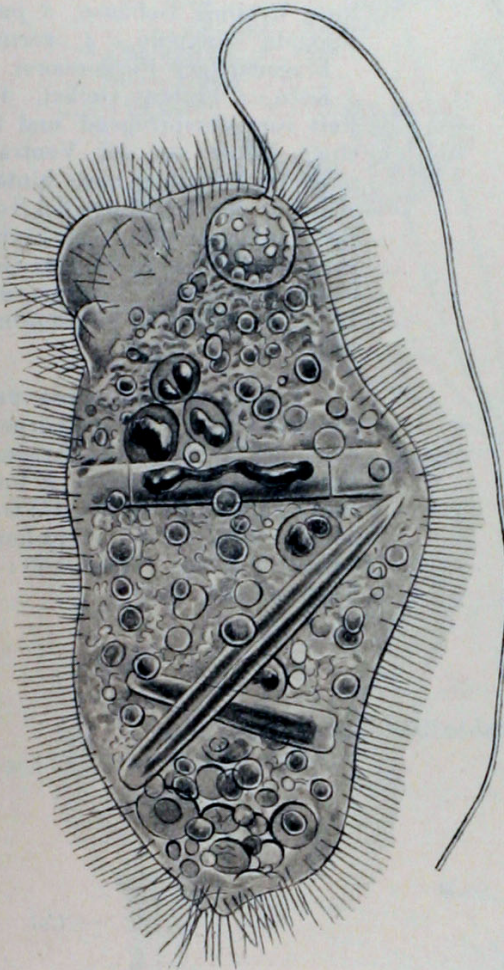


Fig. 2.

Fig. 2. **Mastigina setosa** GOLDSCHM. Die Geißel entspringt direkt vom Kern. Vergr. 652:1. Nach GOLDSCHMIDT 1907.

2. Ordnung: Protomonadina.

Ektoplasma wenig differenziert, zart; Körper daher häufig amöboid. Die in Ein- bis Vierzahl vorhandenen (zur Unterscheidung der Familien benutzten) Geißeln entspringen aus einfachen oder doppelten Basalkörnern, die mit dem Binnenkörper (Karyosom) des einfachen Kernes durch einen Rhizoplast in Verbindung stehen.

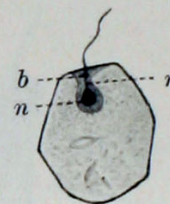


Fig. 3.

Fig. 3. **Monas guttula** EHRENG. *b* Basalkörper der Geißel, *n* Kern, *r* Rhizoplast. Nach PROWAZEK 1903.

Parabasalapparat und Achsenstab fehlen, Kernteilungsspindel intranukleär. 1—2 einfach gestaltete pulsierende Vakuolen (nur bei den Süßwasserbewohnern). Chromatophoren fehlen; Ernährung holozoisch oder saprophytisch, bei Parasiten durch Osmose.

Cercomonas, *Oecomonas*, *Ancyromonas*, *Monas* (Fig. 3), *Dendromonas*, *Cephalothamnium*, *Anthophysa* (Fig. 4). *Bodo* (Fig. 226 u. 286), *Phyllomitus*.

anderen vereinigt. Bei dem derzeitigen Stande des Flagellatensystems dürfte daher eine vielleicht etwas zu weitgehende Sonderung im Interesse der Uebersichtlichkeit immer noch besser sein wie zu weitgehende Zusammenfassung.

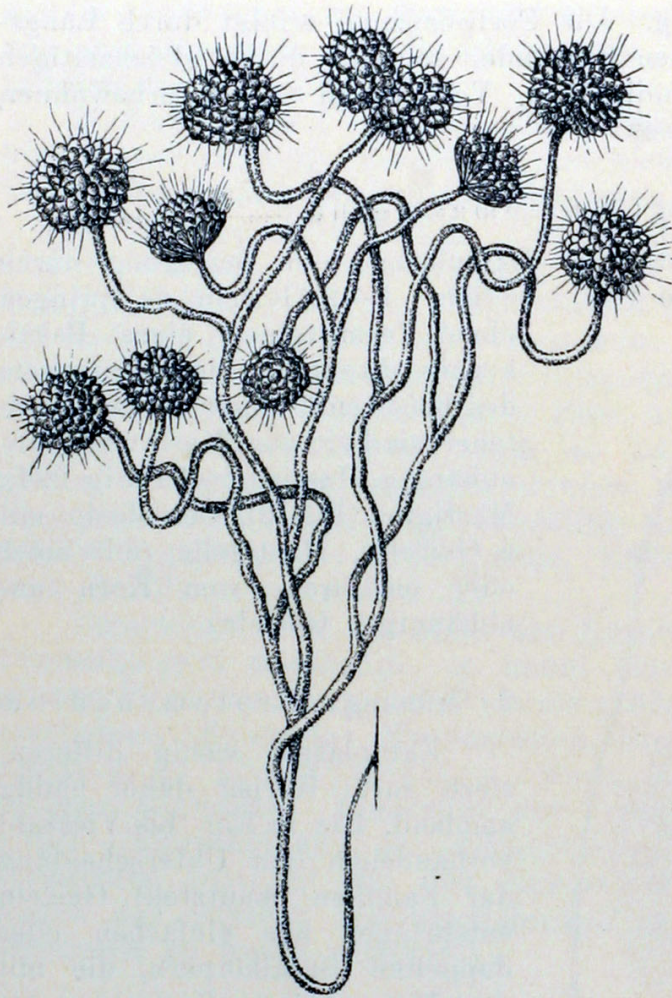


Fig. 4.

Fig. 4. **Anthophysa vegetans** MÜLL. Süßwasser. Reich verzweigte, ansehnliche Kolonie mit sehr zahlreichen Endtrauben, wovon eine in Teilung. Vergr. 165 : 1. Nach KENT 1880/81.

Fig. 5. **Bicosoeca socialis** LAUTERB. Sternförmige Kolonie. 1 Hauptgeißel, 2 häutiges hyalines Gehäuse, 3 pulsierende Vakuole, 4 zarter, kragenartiger Plasmasaum, 5 Kern, 6 hintere Geißel, die weit vorn entspringend und in einer Rinne auf der Ventralseite des Zelleibes nach hinten ziehend, der Schleppgeißel von Bodo entspricht und die Fixierung des Tieres in seinem Gehäuse vermittelt. Vergr. ca. 1125 : 1. Nach LAUTERBORN 1899.

Fig. 6. **Salpingoeca vaginalicola** ST. Bk Basalkörperchen der Geißel, Col Kragen, Cv kontraktile Vakuole, F Fuß des Gehäuses, Fl Geißel, Gh Gehäuse, N Kern, V nicht-kontraktile Vakuole. Vergr. 700 : 1. Nach BURCK 1909.

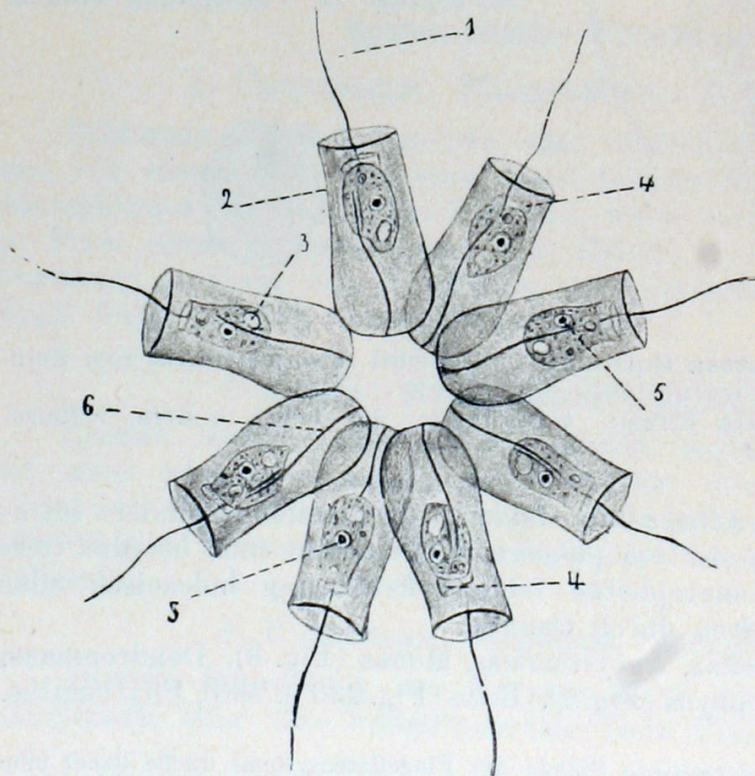


Fig. 5.

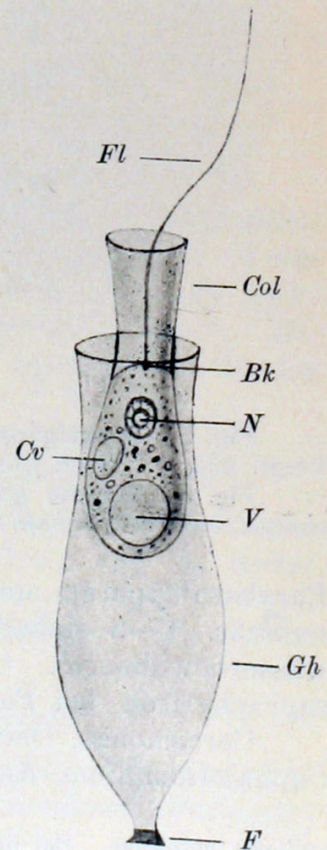


Fig. 6.

Bicosoecca (Fig. 5), Poteriodendron. Amphimonas, Diplomita, Spongomonas, Cladomonas (Fig. 267), Rhipidodendron, Cyathomonas, Trimastix, Dallingeria, Costia. Bei den Craspedomonaden (s. Choanoflagellaten)

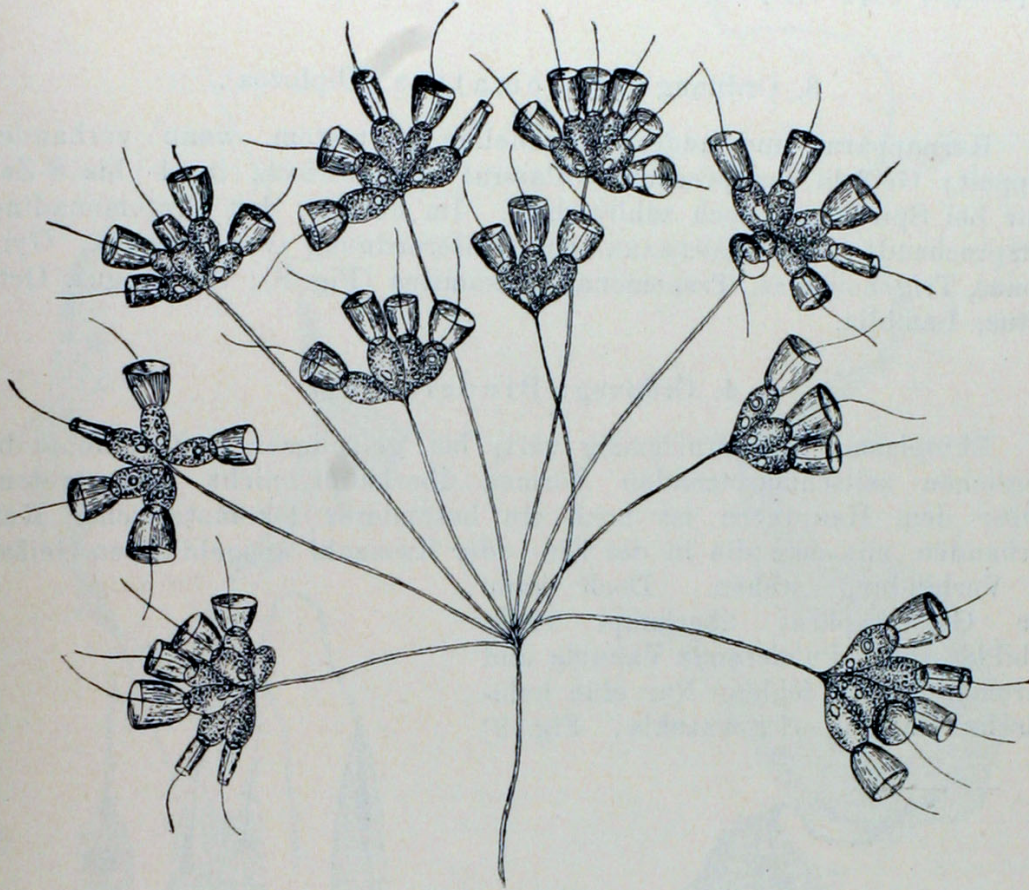


Fig. 7. **Codonocladium allioides** S. K. Erwachsene Kolonie. Vergr. 480:1. Nach SAVILLE KENT 1880/82.

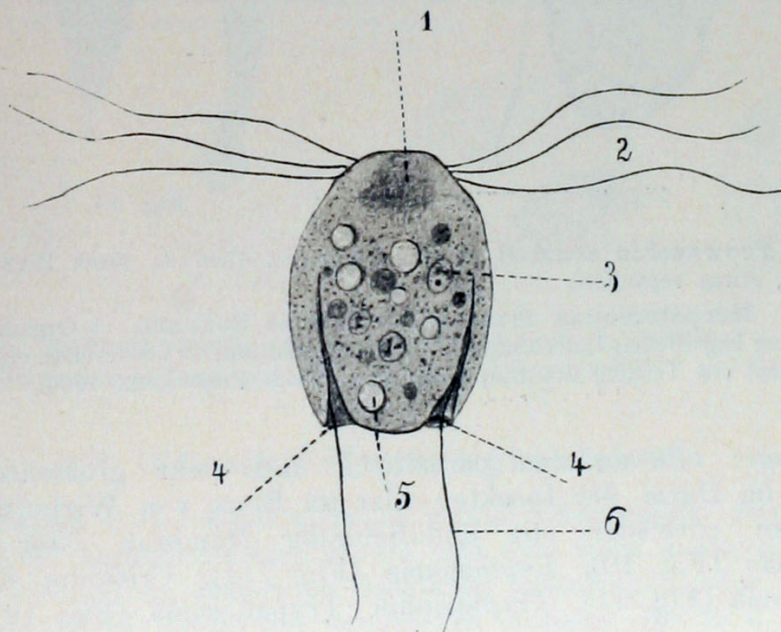


Fig. 8. **Hexamitus inflatus** DUJ. (Länge 13—25 μ , Breite 9—15 μ). 1 Lage des Kernes, 2 Hauptgeißeln, 3 Nahrungsvakuole, 4 Mundspalten, 5 kontraktile Vakuole, 6 Schleppgeißeln. Vergr. 1300:1. Nach KLEBS 1892/93.

ist die einzige Geißel von einem trichterförmigen protoplasmatischen Kragen umgeben: *Monosiga*, *Protospongia* (Fig. 163), *Codosiga* (Fig. 285), *Codonocladium* (Fig. 7); *Salpingoeca* (Fig. 6 u. 285 d), *Polyoea* (Fig. 268), *Diplosiga*, *Diplosigopsis*; in die Nähe auch *Phalansterium*.

3. Ordnung: Distomatina (Diplozoa).

Kernapparat und andere Organellen (Cytostom, wenn vorhanden) doppelt; Geißeln entsprechend bilateral symmetrisch, in 4- bis 8-Zahl (nur bei *Spiro nema* noch zahlreicher). Im übrigen den Protomonadinen entsprechend (nach HARTMANN nur Unterordnung von diesen). *Gyromonas*, *Trigonomonas*, *Trepomonas*, *Hexamitus* (Fig. 8); *Urophagus*, *Octomitus*, *Lambli*a.

4. Ordnung: Binucleata¹⁾.

Ektoplasma verhältnismäßig zart, bei geißellosen und amöboid beweglichen zellschmarotzenden Formen überhaupt nicht hervortretend. Außer dem Hauptkern ist noch ein besonderer lokomotorischer Kern vorhanden, mit dem die in der Ein- oder Zweizahl ausgebildeten Geißeln in Verbindung stehen. Doch kann der Geißelapparat überhaupt rückgebildet sein. Pulsierende Vakuole und Chromatophoren fehlen. Nur eine holozische Gattung (*Prowazekia*, Fig. 9)

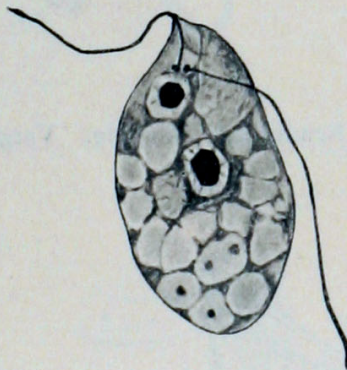


Fig. 9.

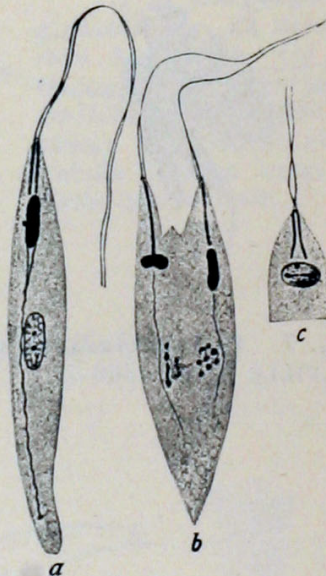


Fig. 10.

Fig. 9. ***Prowazekia cruzi*** H. & CH. Vergr. ca. 3700 : 1. Nach HARTMANN und CHAGAS 1910, etwas verändert.

Fig. 10. ***Herpetomonas muscae domesticae*** BURNETT. *a* Organisation eines nicht in Teilung begriffenen Individuums, *b* Teilungsstadium, *c* Vorderende eines früheren Teilungsstadiums mit Teilung des Blepharoplasts. Nach PROWAZEK 1904.

im Süßwasser; alle anderen parasitisch und zwar größtenteils (aber nicht nur) im Darm der Insekten oder im Blute von Wirbeltieren; die Blutparasiten entweder mit undulierender Membran oder geißellos. *Herpetomonas* (Fig. 10), *Leptomonas* (Fig. 214), *Crithidia* (Fig. 264), *Trypanoplasma* (Fig. 11), *Trypanophis*, *Trypanosoma* (Fig. 12), *Schizo-*

¹⁾ Von einigen Autoren noch zum Teil den Protomonadinen und zum Teil den Sporozoen zugerechnet.

trypanum, Haemoproteus, Proteosoma (Fig. 139), Plasmodium (Fig. 137), Babesia (Fig. 13), Leishmania (Fig. 265), Leucocytozoon (Fig. 151).

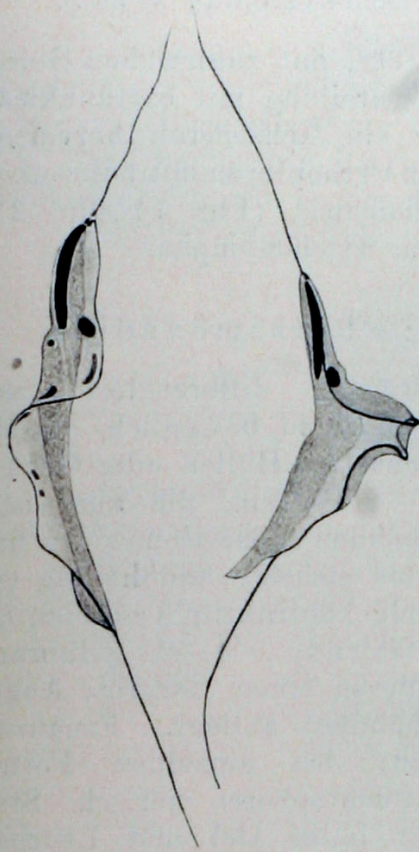


Fig. 11.

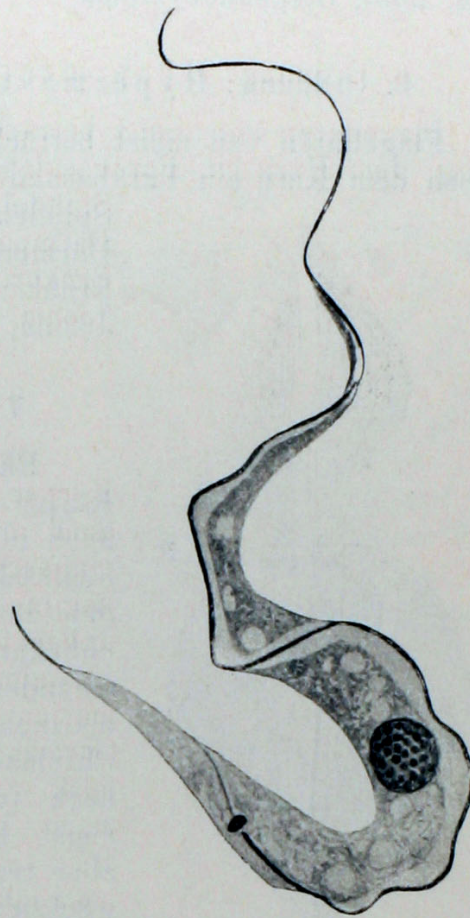


Fig. 12.

Fig. 11. **Trypanoplasma cyprini** M. PLEHN aus dem Blute des Karpfens. Vergr. 2000:1. Nach LÜHE 1906.

Fig. 12. **Trypanosoma theileri** LAV. aus dem Blute des Rindes. Vergr. 3000:1. Nach LÜHE (1906) aus DOFLEIN.

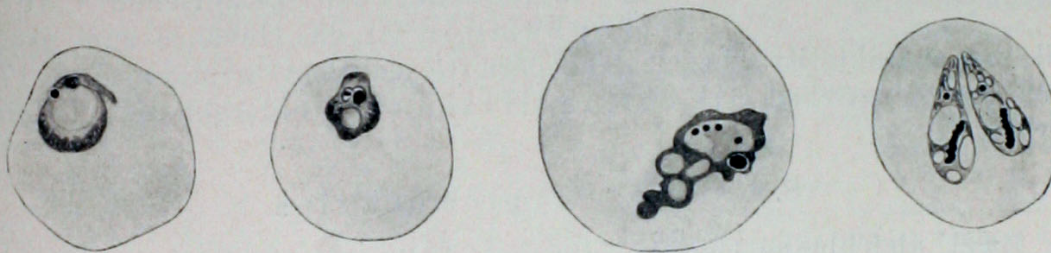


Fig. 13. **Babesia canis** (PIANA & GALLI-VAL.). 1—3 Ring- und amöboide Formen, 4 Birnformen. Vergr. ca. 3000:1. Nach LÜHE 1906.

5. Ordnung: Polymastigina (s. str.).

Ektoplasma noch verhältnismäßig wenig differenziert. Mit 4 Geißeln, die von einem verhältnismäßig großen, mit dem Kern durch einen Rhizoplasten in Verbindung stehenden Basalkorn entspringen, oder bei gleichzeitiger Vielzahl der Kerne mit zahlreichen Gruppen von je 4 gemeinsam entspringenden Geißeln. Neben Basalkorn und Kern ein Parabasalapparat. Kernteilung mit extranukleärer Spindel, aus der ein Achsenstab hervorgeht (vgl. Fig. 215). Größtenteils Parasiten. Freilebend: Tetra-

mitus, Collodictyum; einkernige Parasiten: Trichomastix, Trichomonas (Fig. 228), Devescovina (Fig. 234); vielkernige Parasiten: Calonympha (Fig. 235), Stephanonympha.

6. Ordnung: Hypermastigina (Trichonymphida s. str.).

Flagellaten von meist beträchtlicher Größe, mit zahlreichen Geißeln. Neben dem Kern ein Parabasalapparat. Kernteilung mit extranukleärer Spindel, aus der ein Achsenstab hervorgeht. Darmparasiten von Orthopteren mit holozoischer Ernährung: Lophomonas (Fig. 14 und 215), Joenia, Parajoenia, Trichonympha.

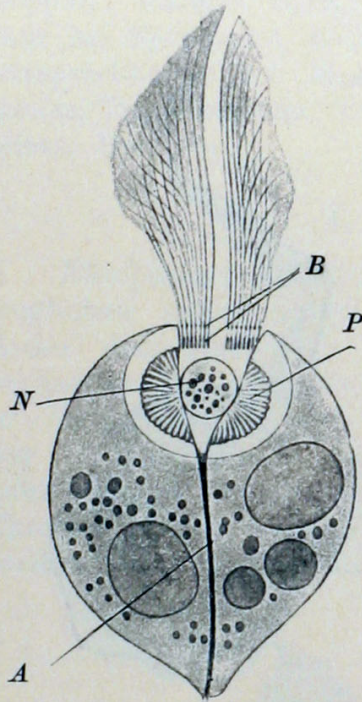


Fig. 14. **Lophomonas blattarum** ST. A Achsenstab, B Basalkörner der Geißeln, N Kern, P Parabasalapparat. Nach JANICKI aus DOFLEIN 1911.

7. Ordnung: Chrysomonadina.

Ektoplasma wenig differenziert, zart; Körper daher oft amöboid beweglich, oft aber auch in verschiedenartige Hüllen oder Gehäuse eingeschlossen. 1—2 Geißeln, die aber rückgebildet werden können (Insertionsweise noch unbekannt). Ein bis mehrere unabhängig voneinander pulsierende kontraktile Vakuolen (bei marinen Arten fehlend). 1—6 gelbbraune Chromatophoren, deren einem der rote Augenfleck (wenn vorhanden) anliegt. Ernährung meist holophytisch, bei einzelnen Formen aber trotz der Chromatophoren tierisch. Stoffwechselprodukt ist fettes Öl und Leucosin. Chrysamoeba (Fig. 15 A), Chromulina, Microglena (Fig. 15 B), Chrysococcus, Chrysopyxis (Fig. 225 B), Palatinella, Mallomonas (Fig. 15 C), Chrysosphaerella (Fig. 15 F), Synura (Fig. 225 A), Syncrypta, Ochromonas, Epipyxis, Dinobryon (Fig. 15 D). Bei den pelagischen Coccolithophoriden ist das Gehäuse zum großen

Teil von charakteristischen Kalkkörpern (Coccolithen) gebildet (Fig. 170). Auch die pelagischen Silicoflagellaten (Fig. 171) gehören vielleicht hierher.

8. Ordnung: Cryptomonadina.

Zwei gleichlange Geißeln, die unterhalb des Vorderendes am Eingange einer schlundartigen Vertiefung entspringen und deren Basalkorn keine dauernde Verbindung mit dem Kern besitzt. 1—2 kontraktile Vakuolen vorhanden. Ohne Chromatophoren, Ernährung dann saprophytisch (Chilomonas, Fig. 16) oder mit 1—2 verschiedenfarbigen Chromatophoren und holophytischer Ernährung (Cryptomonas, Fig. 17). Stoffwechselprodukt ist Stärke (auch bei den chlorophyllfreien Formen).

9. Ordnung: Chloromonadina.

Ektoplasma deutlich, aber zart; Körper daher zum Teil noch etwas amöboid. 1—2 Geißeln. Eine kontraktile Vakuole mit wenigen bis zahlreichen Bildungsvakuolen am Vorderende. Zahlreiche, ovale bis rund

scheibenförmige Chlorophyllkörner. Ernährung holophytisch oder saprophytisch. Stoffwechselprodukt ist fettes Oel. Chloramoeba, Merotricha, Thaumatomastix.

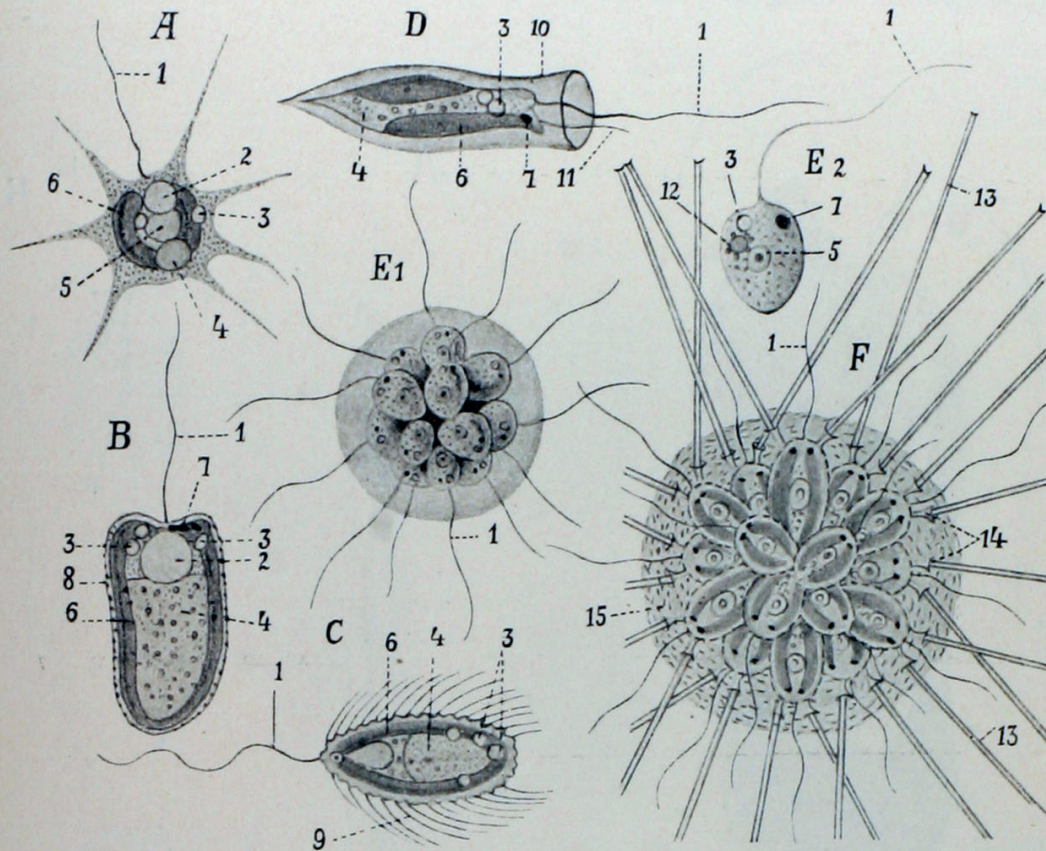


Fig. 15. **Verschiedene Vertreter von Chrysomonadinen** neben einer Volvocide. **A** *Chrysamoeba radians* KLEBS im Amöbenzustand. Vergr. 750:1. (Durchmesser 12—15 μ .) **B** *Microglena punctifera* EHRLG. (Länge 30 μ , Breite 19 μ .) **C** *Mallomonas ploesslii* PERTY (Länge 20—26 μ , Breite 7—12 μ). **D** *Dinobryon sertularia* EHRLG. Einzelnes Individuum der dendritisch verzweigten, buschförmigen Kolonie. Vergr. 975:1. **E** *Mastigosphaera gobii* SCHEW. (Volvocide). **E**₁ Kolonie von 16 Individuen in einer dicken Gallerthülle. Vergr. 660:1. (Durchmesser 0,033 mm.) **E**₂ Ein isoliertes Individuum. Vergr. 1125:1. (Länge 0,009 mm.) **F** *Chrysosphaerella longispina* LAUTERB. Traubige, aus zahlreichen birnförmigen Einzelindividuen zusammengesetzte Kolonie. Die Einzelindividuen, die von einer aus Plättchen bestehenden Hülle umgeben sind, mit zwei gewölbten Chromatophoren, die vorn ein rötlich-violettes Stigma tragen; im Zentrum der Kern; am Vorderende eine Geißel zwischen zwei champagnerglasförmigen Gebilden (14), die je eine lange hohle Kieselnadel (13) tragen. Um die ganze Kolonie ein lockerer Mantel zarter gebogener Kieselspicula (15). **A**, **B**, **C**, **D** nach KLEBS 1892/93, **E** nach SCHEWIAKOFF 1893, **F** nach LAUTERBORN 1899. — 1 Geißel, 2 unveränderliche Vakuole, 3 pulsierende Vakuole, 4 Leukosin, 5 Kern, 6 Chromatophoren (Chrysochromplatten), 7 Stigma (Augenfleck), 8 Hülle, 9 steife verkieselte Borsten, 10 Gehäuse, 11 Nebengeißel, 12 Pyrenoid, 13 hohle Kieselnadeln, 14 becherförmige Nadelträger der Gallerthülle, 15 Kieselspicula.

10. Ordnung: Euglenoidea.

Verhältnismäßig große Flagellaten ohne amöboide Beweglichkeit, wenngleich häufig noch stark metabolisch; mit starkem, häufig streifig skulpturiertem Periplast und mit meist einer ansehnlichen, seltener 2 gleichen oder ungleichen Geißeln, die in einer Grube am Vorderende entspringen und deren Basalkorn keine dauernde Verbindung mit dem Kern besitzt. Eine oder mehrere pulsierende Vakuolen, die sich in ein am Vorderende gelegenes Reservoir öffnen. Chromatophoren grün, stern-, band- oder

scheibenförmig, meist in größerer Zahl, mitunter fehlend. Ernährung holophytisch oder saprophytisch, seltener holozoisch oder parasitisch. Stoffwechselprodukte sind Paramylon und fettes Oel. *Euglena* (Fig. 18 A), *Trachelomonas*, *Ascoglena*, *Colacium*, *Eutreptia*. *Astasia*. *Peranema*, Ur-

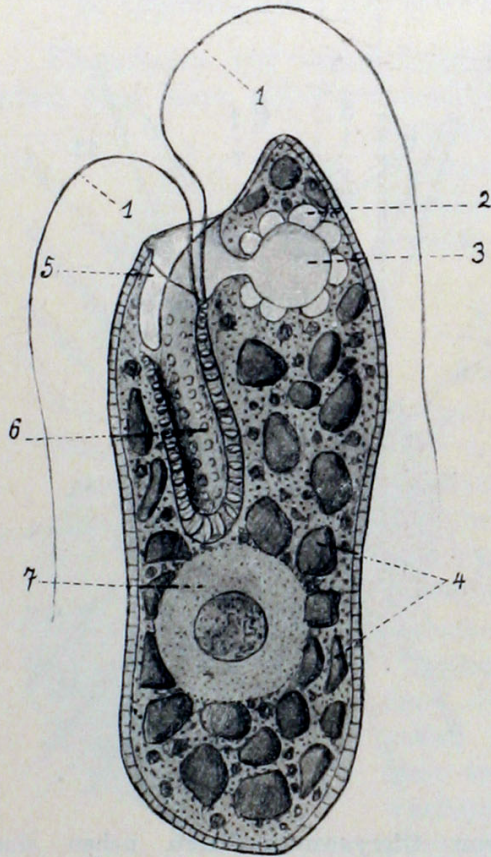


Fig. 16.

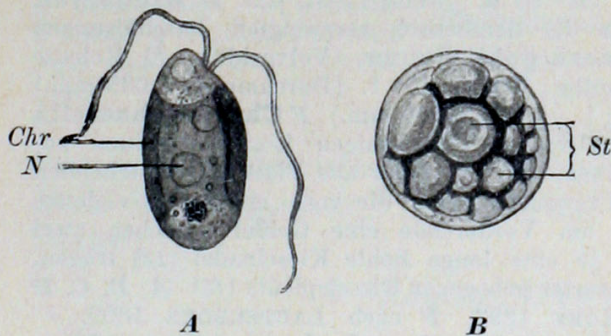


Fig. 17.

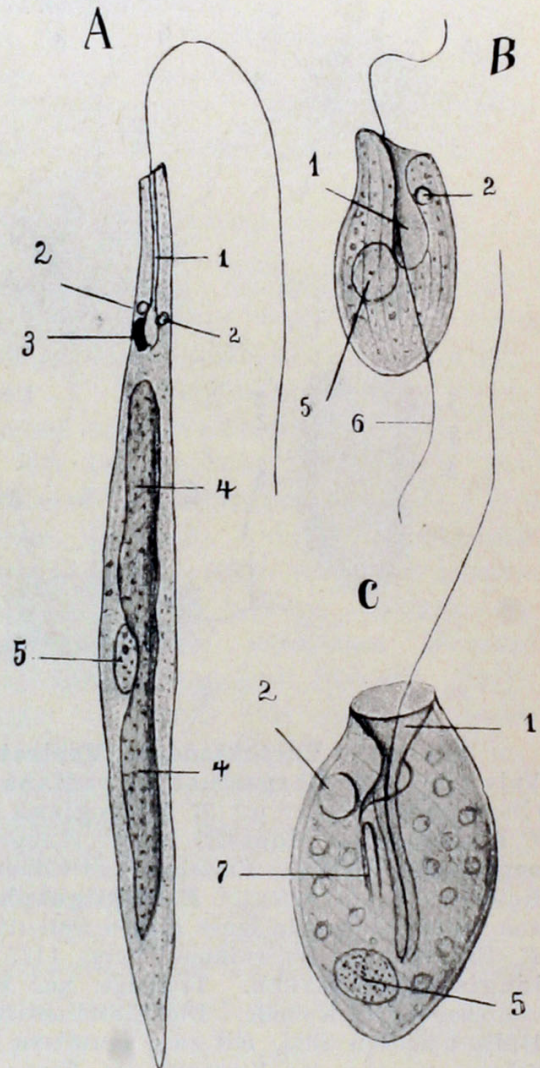


Fig. 18.

Fig. 16. **Chilomonas paramecium** EHRLG. Vergr. 480:1. (Länge bis 40 μ .) Nach KUNSTLER 1898, von LANG etwas verändert. 1 Geißeln, 2 Bildungsvakuolen der pulsierenden Vakuole, 3 pulsierende Vakuole, 4 Stärkekörner, 5 Infundibulum mit schlundartiger Verlängerung (6) in das Innere des Zelleibes, 7 Kern.

Fig. 17. **Cryptomonas schaudinni** (Zooxanthelle aus *Peneroplis pertusus*). A Ausgeschwärmt, B innerhalb der Foraminifere. Chr Chromatophor, N Kern, St Stärke. Nach WINTER (1907) aus DOFLEIN.

Fig. 18. **Euglenoiden.** A *Euglena elongata* SCHEWIAKOFF, 0,064 mm lang, 0,005–0,006 mm breit. B *Marsupiogaster striata* SCHEWIAKOFF, 0,027 mm lang, 0,015 mm breit. C *Urceolus cyclostomus* STEIN. Vergr. 1100:1. 1 Schlund-einsenkung, 2 pulsierende Vakuolen, 3 Stigma (Augenfleck), 4 Chromatophor (Chlorophyllkörper), 5 Kern, 6 Schleppgeißel, 7 Staborgan (vgl. Organellen zur Nahrungsaufnahme). A und B nach SCHEWIAKOFF 1893, C nach KLEBS 1892/93.

ceolus (Fig. 18 C); Heteronema, Tropidoscyphus (Fig. 227); Notosolenus (Fig. 315); Anisonema, Marsupiogaster (Fig. 18 B); Entosiphon (Fig. 287), Dinema.

II. Unterklasse: **Volvocales.**

Die kleinen Einzelindividuen, die in zum Teil sehr großer Zahl zu freischwimmenden kugeligen Kolonien vereinigt sein können, mit dünner Cellulosemembran, mit 2, seltener 4 oder 8 gleichen Geißeln, die wie bei

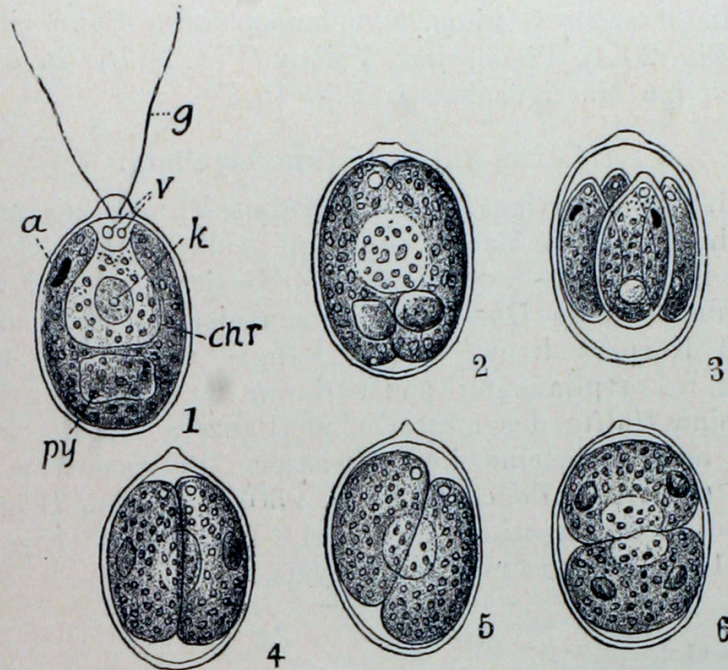


Fig. 19. **Chlamydomonas.** 1 *Chl. angulosa* DILL., 2—3 dieselbe in Teilung, 4—6 Teilungsstadien von *Chl. longistigma* DILL. *a* Stigma (Augenfleck), *chr* becherförmiges Chromatophor, *g* Geißeln, *k* Kern, *py* Pyrenoid, *v* pulsierende Vakuolen. Aus OLTMANS 1912.

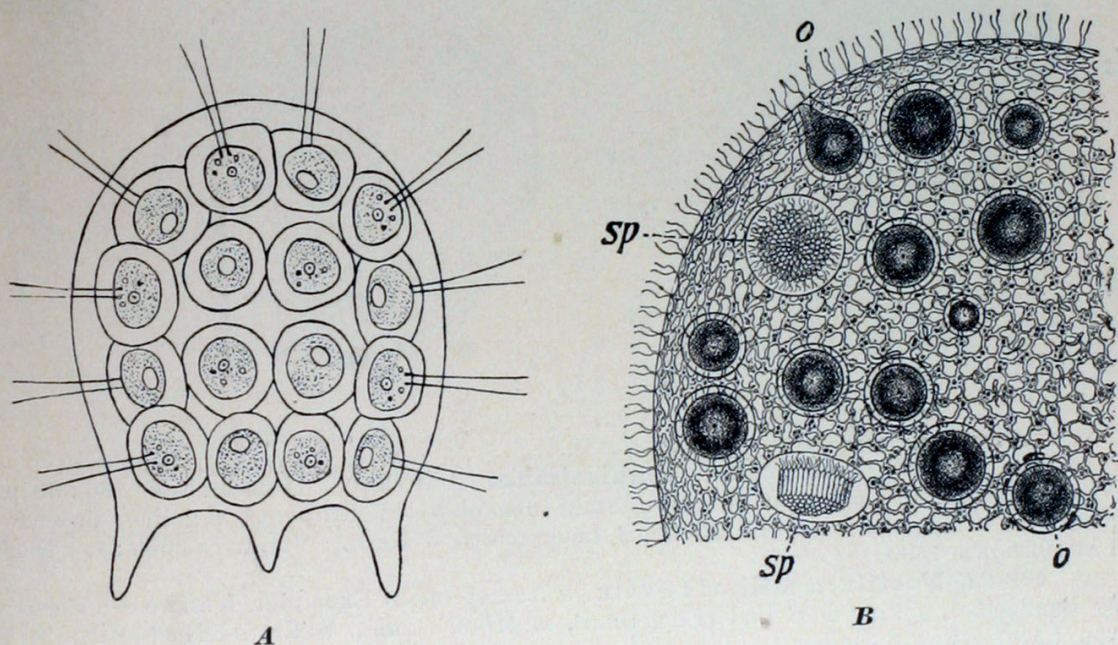


Fig. 20. **Volvociden.** *A* *Platydictyon* Kolonie. Nach KOFOID. Die von einer Cellulosemembran umgebenen Einzelzellen in einer gemeinsamen Gallerthülle. *B* *Volvox globator* EHRBG., Teil einer geschlechtlichen hermaphroditischen Kolonie (Durchmesser 600—800 μ). Die vegetativen Einzelindividuen durch Plasmabrücken netzig verbunden. *o* Oogonien, *sp* Spermatozoiden. Aus OLTMANS 1912.

den Protomonadina inseriert sind, und meist mit einem großen, mehr oder weniger becherförmigen, lebhaft grünen Chromatophor, dem ein roter Augenfleck anliegt. Kern bläschenförmig, mit reichlichem Außenchromatin. Fortpflanzung durch Längsteilung. Ernährung meist holophytisch, nur ausnahmsweise saprophytisch. Stoffwechselprodukt ist Stärke, die in erster Linie an besonderen, als Pyrenoide bezeichneten Herden gebildet wird. Chlamydomonadidae (einzeln lebend): Chlamydomonas (Fig. 19), Polytoma, Chlorogonium, Haematococcus, Phacotus. Volvocidae (koloniebildend): Gonium, Stephanosphaera, Pandorina, Eudorina, Platydorina (Fig. 20 A), Pleodorina, Volvox (Fig. 20 B); in die Nähe auch die nur eingeißlige Mastigosphaera (Fig. 15 E).

III. Unterklasse: Dinoflagellata.

Meist mit panzerartiger, aus mehreren Tafeln zusammengesetzter Cellulosemembran, selten nackt oder mit einheitlicher Cellulose- oder Gallerthülle. Eine Längs- und eine deren Basis oder (sehr viel häufiger) den Körper umgürtende Quergeißel, die meist in furchenartigen Vertiefungen des Körpers liegen (einer Längs- und einer Gürtelfurche). Kerne massig. Fortpflanzung meist durch Querteilung, bei der jede Tochterzelle eine Hälfte des mütterlichen Panzers erhält. Planktonorganismen, meist marin, einzelne im Süßwasser. Prorocentrum, Exuviaella. Gymnodinium (Fig. 21), Pouchetia (Fig. 230), Oxyrrhis (Fig. 232), Polykrikos, Glenodinium, Ceratium (Fig. 231), Peridinium (Fig. 316), Podolampas (Fig. 164), Ceratocorys, Dinophysis.

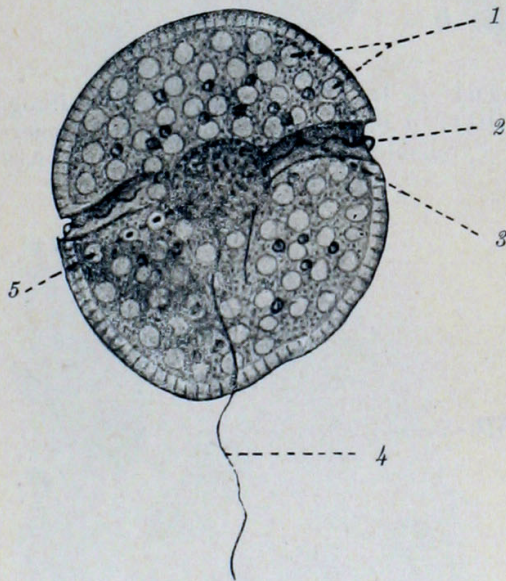


Fig. 21.

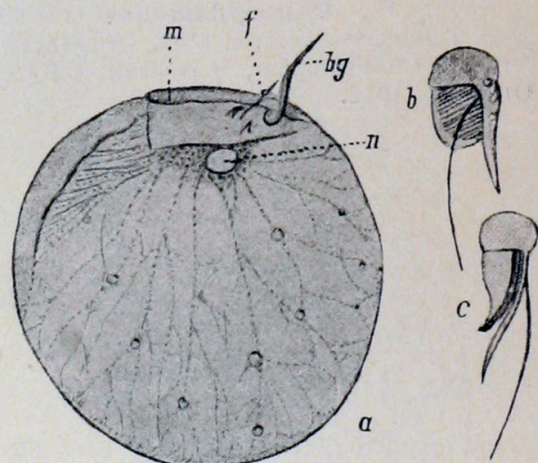


Fig. 22.

Fig. 21. **Gymnodinium tenuissimum** LAUTERB. Durchmesser 66:60 μ . Ventralansicht des ungefähr scheibenförmig abgeplatteten Körpers. 1 gelbe Chromatophoren, 2 Ringgeißel, 3 Gürtelfurche, 4 Längsgeißel, 5 Kern. Vergr. ca. 600:1. Nach LAUTERBORN 1899.

Fig. 22. **Noctiluca miliaris** SURIR. a Ausgebildetes Exemplar, b und c Schwärmer. bg Bandgeißel, f hintere Geißel (Flagellum), m Mundöffnung, n Kern. Nach BÜTSCHLI, von LANG etwas verändert.

IV. Unterklasse: Cystoflagellata.

Plasma netzförmig angeordnet infolge von reichlicher Gallerteinlagerung in den von einem festen Periplast umschlossenen Körper. Kern

bläschenförmig. Chromatophoren fehlen, Ernährung holozoisch, Bewegung mit Hilfe einer tentakelartigen „Bandgeißel“ (*Noctiluca*, Fig. 22) oder medusenähnlich mit Hilfe rhythmischer Körperkontraktionen (*Leptodiscus*, *Craspedotella* (Fig. 289).

II. Klasse: **Sarcodina**, Sarcodetierchen.

Protozoen mit nacktem Zellleib. (Auch bei den beschaltten Formen tritt ein Teil des Protoplasmas außerhalb der Schale nackt zutage.) Im Dienste der Bewegung und Nahrungsaufnahme stehen formveränderliche, nicht schwingende Fortsätze des Protoplasmas (Pseudopodien). Zellenmund fehlt. Fortpflanzung sehr verschiedenartig (durch Zweiteilung, multiple Teilung oder Knospung).

I. Unterklasse: **Amoebozoa**.

Nackt oder beschalt. Pseudopodien ohne Körnchenströmung und überhaupt nicht oder doch nur in geringem Grade zu Verschmelzungen neigend, meist breitlappig oder fingerförmig. Vorwiegend Süßwasserbewohner. (Die systematische Zusammengehörigkeit und weitere Einteilung der hierher gestellten Formen ist noch zweifelhaft).

1. Ordnung: **Amoebina** (*Gymnamoebaea*).

Nackte Formen: *Amoeba* (Fig. 23), *Vahlkampfia* (Fig. 68, 94), *Dactylosphaerium*, *Entamoeba* (Fig. 75), *Paramoeba* (Fig. 95), *Pelomyxa*.

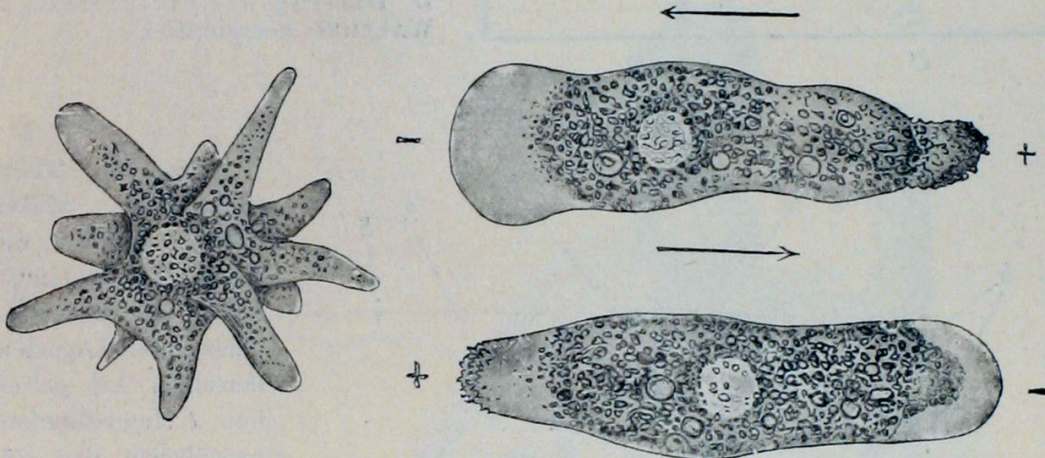


Fig. 23. ***Amoeba proteus*** LEIDY, 200—500 μ lang. Links ungereizt mit zahlreichen Lobopodien. Rechts elektrisch gereizt, oben nach Schließung und unten nach Umkehrung des elektrischen Stromes. Die Pfeile geben die Kriechrichtung an. Nach VERWORN 1897.

2. Ordnung: **Testacea** (*Thecamoebaea*).

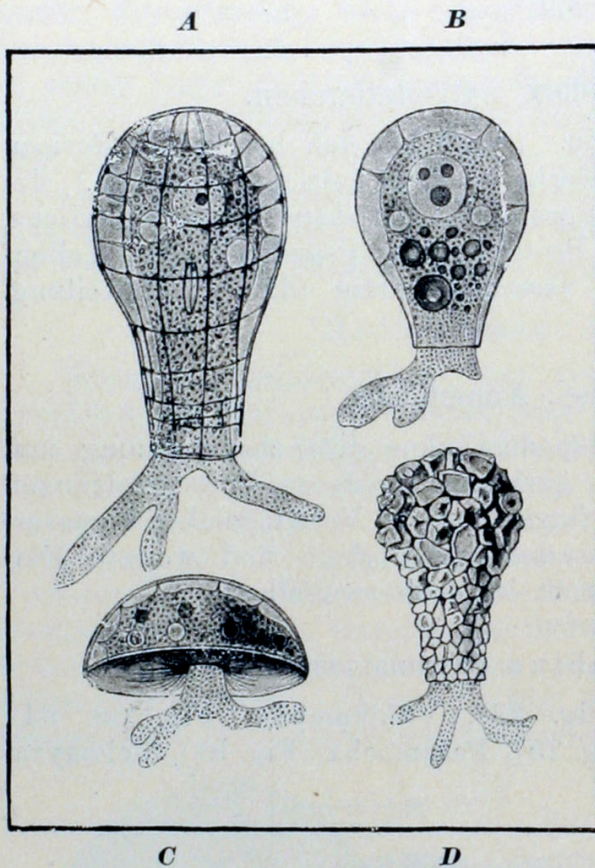
Beschaltte Formen. Schale pseudochitinig, sandig oder kieselig, nur selten mit Kalkeinlagerungen.

a) *Lobosa*. Pseudopodien fingerförmig (Lobopodien): *Arcella* (Fig. 24 C), *Cochliopodium*, *Hyalosphenia* (Fig. 24 B), *Diffugia* (Fig. 24 D und 157 A), *Centropyxis*, *Pontigulasia*, *Lequereusia*, *Quadrula* (Fig. 24 A), *Nebela*. Den Uebergang zu den *Filosa* vermitteln *Cryptodiffugia* und *Phryganella*.

In die Nähe wird provisorisch auch *Trichosphaerium* (Fig. 25) gestellt.

b) Filosa. Pseudopodien spitz fadenförmig, mitunter stark verzweigt. Chlamydophrys (Fig. 221). Pseudodifflugia, Frenzelina (Fig. 220),

Euglypha (Fig. 336), Cyphoderia, Sphenoderia (Fig. 157 B), Pamphagus, Paulinella; zwei Schalenmündungen haben Amphitrema, Ditrema; eine noch größere Zahl Microcometes.



II. Unterklasse: Foraminifera (Reticulosa, Thalamophora).

Mit Ausnahme von Jugendformen und einiger zweifelhafter Formen stets beschalt; Schale pseudochitinig, sandig oder kalkig. Pseudopodien mit Körnchenströmung und sehr stark zu

Fig. 24. **Lobose Thecamöben.**
A *Quadrula symmetrica*, nach F. E. SCHULZE. B *Hyalosphenia lata*, nach F. E. SCHULZE. C *Arcella vulgaris*, nach HERTWIG & LESSER. D *Difflugia pyriformis*, nach WALLICH, komplettiert.

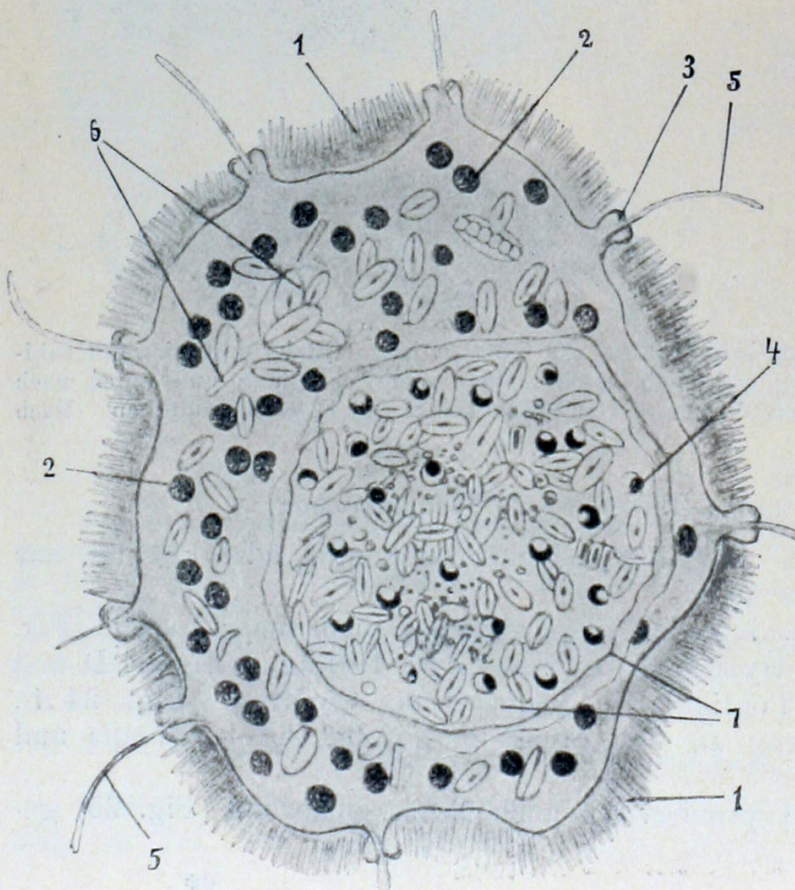


Fig. 25. **Trichosphaerium sieboldi** SCHN. Schnitt durch einen „Agamonten“, der neben Diatomeen auch einen anderen Agamonten derselben Art gefressen hat. 1 Magnesiumkarbonatstäbchen der Hülle, 2 Kerne, 3 von elastischen Ringwulsten umgebene Oeffnungen der Hülle für die Pseudopodien, 4 Kerne des gefressenen Trichosphaeriums, 5 Pseudopodien, 6 aufgenommene Nahrung (Diatomeen), 7 gefressenes Trichosphaerium, welches bis auf seine Hülle, Kerne und unverdaulichen Nahrungsreste (Diatomeen) bereits nahezu verdaut ist. Vergr. 560:1. Nach SCHAUDINN 1899.

Verschmelzungen neigend, daher zu Netzwerken zusammenfließend. Fast ausschließlich Meeresbewohner ohne kontraktile Vakuole¹⁾.

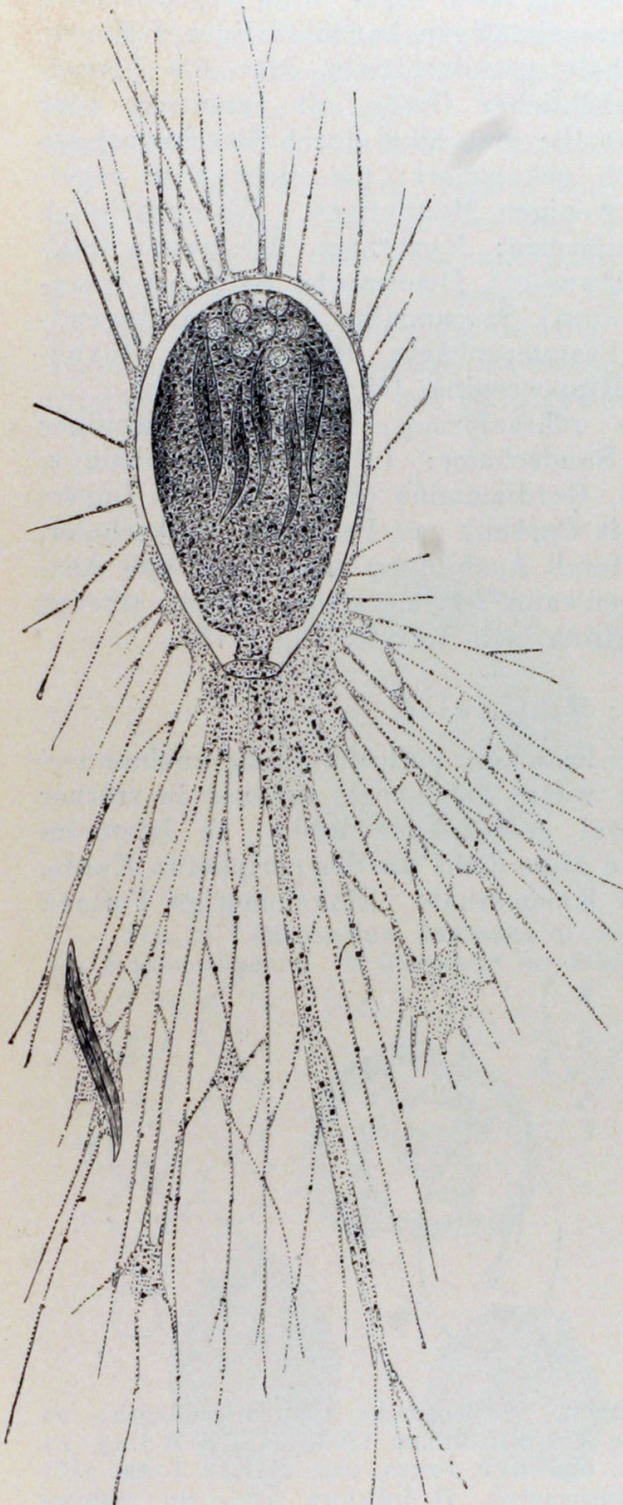


Fig. 26.

Fig. 26. **Allogromia ovoidea** RH. Im Inneren des Plasmas die Kerne und mehrere als Nahrung eingefangene Diatomeen. Nach M. S. SCHULZE.

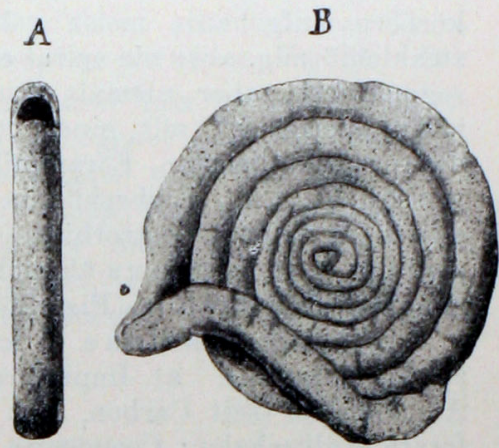


Fig. 27.

Fig. 27. **Ammodiscus**. **A** *A. incertus* D'ORB. von der Schmalseite. **B** *A. tenuis* BRADY von der Fläche. (Durchmesser ca. 3 mm.) Nach BRADY 1884.

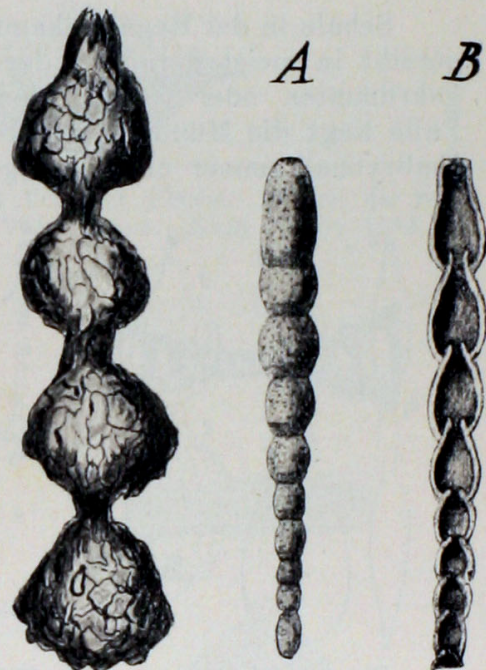


Fig. 28.

Fig. 29.

Fig. 28. **Reophax guttifera** BRADY. (Länge 0,69 mm.) Vergr. 97:1. Nach RHUMBLER 1911.

Fig. 29. **Reophax nodulosa** BRADY. **A** Mit intakter Schale, **B** der Länge nach geöffnet, um die Kammerung zu zeigen. Vergr. ca. 10:1. Nach BRADY 1884.

1) System unter Verwertung brieflicher Mitteilungen von RHUMBLER.

1. Ordnung: Archi-Monothalamia.

Schale ohne regelmäßige Kammerung, meist sogar völlig ungekammert, selten mit mehr oder weniger unregelmäßigen kammerartigen Räumen.

1. Rhabdamminidae. Schale pseudochitinig oder aus Fremdkörpern aufgebaut, meist von erheblicher Größe, oft verzweigt oder strahlenförmig, aber nie spiral eingerollt; manchmal durch Einschnürungen segmentiert, aber niemals wirklich gekammert; nie dicht oder regelmäßig perforiert, mit einer oder wenigen Mündungen. Wahrscheinlich die ursprünglichsten Foraminiferenformen: Myxotheca, Allogromia (Süßwasser, Fig. 26), Lieberkühnia (Süßwasser), Dendrotuba, Salpicola (parasitisch in Salpen), Astrorhiza (seit Jura), Saccamina (seit Jura, Jugendstadium psammosphaera-ähnlich), Psammosphaera, Rhizammina, Rhabdammina, Haliphysema (Fig. 263), Hippocrepina, Girvanella (Silur).

2. Ammodiscidae. Schale röhrenförmig, mehr oder weniger spiral eingerollt. a) Imperforate Sandschaler: Lituotuba, Psammonyx, Ammodiscus (seit Carbon, Fig. 27), Gordiammina (Fig. 172). b) Imperforate Kalkschaler: Cornuspira (seit Carbon). c) Perforate Kalkschaler, welche bei höchster Entwicklung durch Ausbildung säckchenartiger Ausstülpungen ihrer peripheren Röhrenwand kammerartige Räume erzeugt haben. Spirillina (seit Jura), Patellina (seit Kreide, Fig. 178).

2. Ordnung: Nodosalia.

Schale in der Regel gekammert. Kammern perlschnurartig aneinandergereiht in meist gerader oder nur wenig gebogener, seltener in stärker gekrümmter oder völlig planospiral gewundener Reihe; in letzterem Falle liegt die Mündung der Schale stets dicht an der peripheren Kante. Embryonalkammer ohne gebogenen Kammerhals. Einkammerige Formen

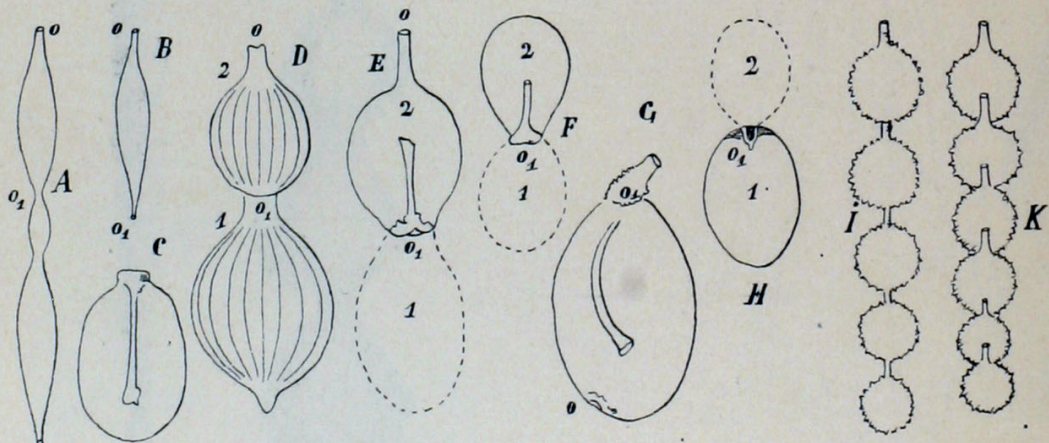


Fig. 30. **Lagenen und Nodosarien.** Schematische Umrißzeichnungen, im wesentlichen nach einer Zusammenstellung von RHUMBLER 1895. **A** und **B** Lagna vulgaris var. distoma-polita PARK. und RUP. JONES, nach RYMER JONES 1875 (**B** ist jedenfalls durch Bruch von **A** entstanden). **D** Lagna spec., ein größeres Exemplar trägt vor seiner Mündung ein kleineres Exemplar angeheftet. Nach ALCOCK 1868. **C**, **E**, **F**, **G**, **H** Lagna globosa WALTER und JAKOB nach BRADY 1884: **C** Monostome entosolene Form, **E** distome und **F** monostome entosolene Form mit Andeutung der wahrscheinlichen Lage der Mutterkammer (1) durch gestrichelte Linien (die für die entosolenen Formen charakteristische röhrenförmige Einstülpung an der Mündung entspricht wahrscheinlich einem Mündungshalse der Mutterkammer, vgl. auch **K**), **G** distome entosolene Form, **H** monostome asolene Form mit Andeutung der wahrscheinlichen Lage der Tochterkammer (2) durch eine gestrichelte Linie, **I** Nodosaria hispida var. sublineata BRADY, **K** Nodosaria hispida BRADY. *o* ursprüngliche, *o*₁ sekundäre (durch Trennung von Mutter- und Tochterschale entstandene) Mündung.

können sekundär aus den gekammerten dadurch entstehen, daß die beim Wachstum neugebildete Kammer sich sofort als monothalame Schale abtrennt.

3. Nodosinellidae. Schale sandig oder mehr oder weniger kalkig, perforat oder imperforat, stets polythalam; Kammerreihe geradegestreckt oder nur wenig gebogen. Mutmaßliche Vorfahren aller höheren Foraminiferen: Nodosinella (seit Kohlenkalk), Reophax (seit Jura, Fig. 28 u. 29).

4. Nodosaridae. Schale rein kalkig, sehr fein perforiert: Nodosaria (seit Silur, mit gerader oder wenig gebogener Kammerreihe, Fig. 30 I, K), Lagena (seit Lias, sekundär monothalam, nach RHUMBLER 1895 aus Nodosarien durch Trennung der einzelnen Kammern entstanden, oft mit langem Mündungshals, der entweder nach außen, ektosolene Formen, oder nach innen, entosolene Formen, gerichtet ist, Fig. 30), Cristellaria (seit Lias, mit spiralgewundener Schale, Fig. 179).

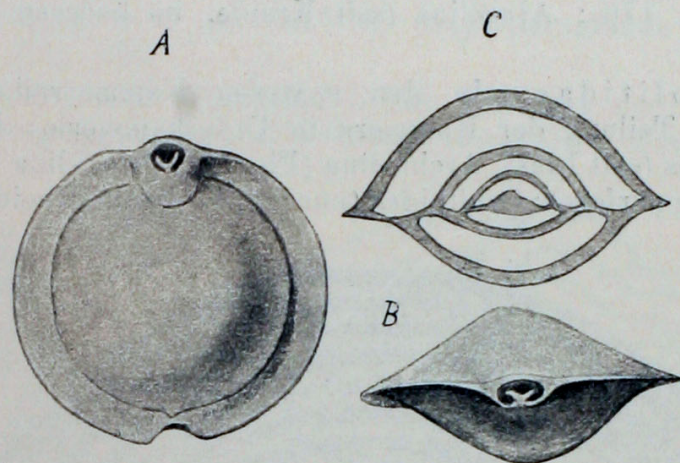


Fig. 31. **Biloculina depressa** D'ORB. A Von der Fläche. B Von der Seite der Schalenmündung. C Querschliff der Schale. Vergr. 30 : 1. Nach BRADY 1884.

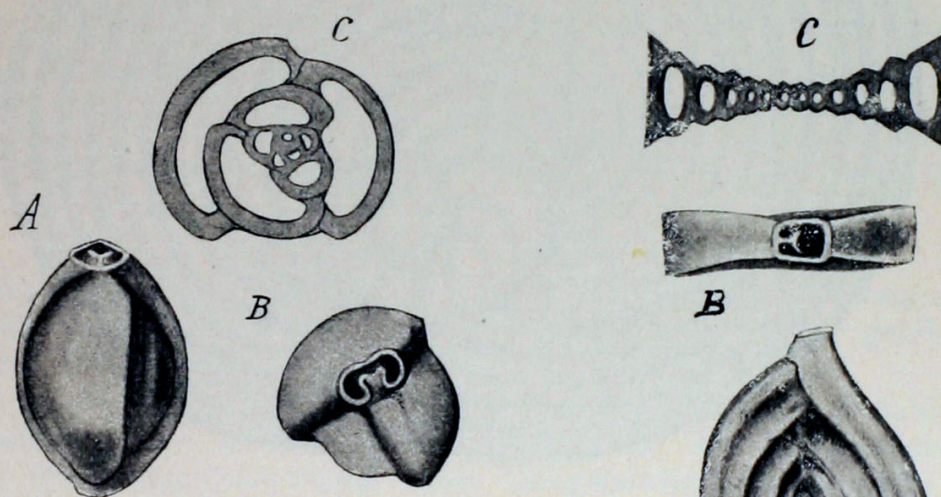


Fig. 32.

Fig. 32. **Miliolina trigonula** LAM. A Lateralansicht. B Von der Seite der Schalenmündung. C Querschliff der Schale. Vergr. von A und B 30 : 1, von C 18 : 1. Nach BRADY 1884.

Fig. 33. **Spiroloculina limbata** D'ORB. A Flächenansicht. B Von der Seite der Schalenmündung. C Querschliff der Schale. Vergr. 30 : 1. Nach BRADY 1884.



Fig. 33.

3. Ordnung: Flexostylidia.

Schale polythalam; meist imperforat, selten wenigstens teilweise perforat; in der Regel kalkig, porzellanartig, manchmal mit Sand untermengt oder rein sandig, in brackischem Wasser pseudochitinig oder pseudochitinig-sandig, in großen Tiefen sich zu einer dünnen kieseligen Schalenhaut verändernd. Die kugelige Embryonalkammer mit einem schlauchförmigen Kanal, der sich als „flexostyler Kammerhals“ um die Embryonalkammer herumlegt und an den sich dann erst die folgende Kammer anschließt.

5. Miliolidae. Kein zyklisches Schalenwachstum. Schale imperforat, nur bei der Embryonalkammer von *Peneroplis* perforat: *Nodobacularia*, *Nubecularia*, *Calcituba*; *Biloculina* (Fig. 31), *Miliolina* (Fig. 32), *Triloculina*, *Quinqueloculina*, *Ophthalmidium*, *Spiroloculina* (Fig. 33); *Peneroplis* (Fig. 176); *Alveolina* (seit Kreide, im äußeren Habitus fusulinenähnlich).

6. Orbitolitidae. In den späteren Kammerreihen zyklisches Wachstum mit Teilung der Kammern in Unterkammern. Kalkig imperforat: *Orbitolites* (seit Lias), *Archiacina* (Fig. 34), *Orbiculina* (seit jüngerem Tertiär). Kalkig perforat: *Orbitoides* (nur fossil, oberste Kreide bis Miocän).

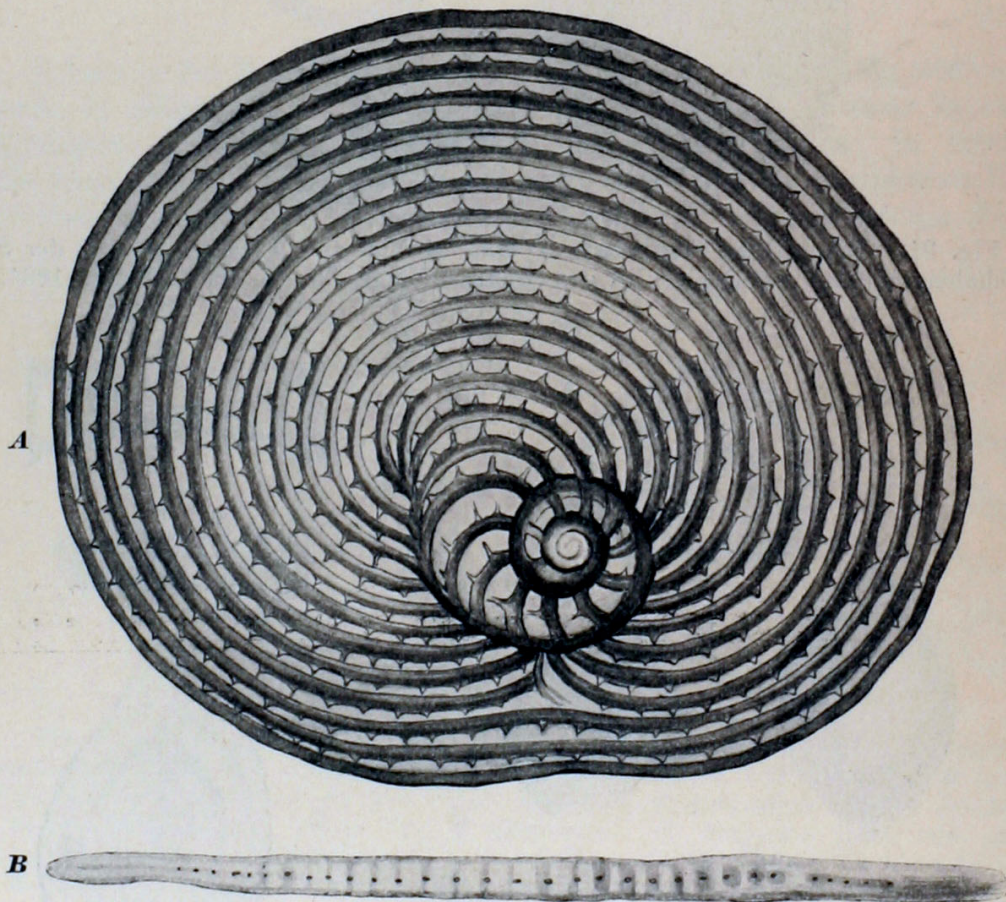


Fig. 34. **Archiacina verworni** RHUMBL. **A** Flächenansicht bei durchfallendem Licht und Einstellung auf die Mittelebene der Schale; man sieht die unvollkommenen Radialwände, die, meist nur als Leisten der Innenwand aufsitzend, die nächstfolgende Wand nicht erreichen. Vergr. 73 : 1 (Durchmesser 1,3 mm). **B** (Kanten-)Ansicht auf die Mündungswand, die eine Reihe von Mündungsporen trägt. Vergr. 41 : 1 (Durchmesser 2,4 mm). Nach RHUMBLER 1911.

4. Ordnung: Textulinida.

Schalen polythalam, sandig, kalkig-sandig oder rein kalkig, meist perforat, selten imperforat. Embryonalkammer ohne Hals, die folgenden Kammern in zwei oder mehr alternierenden Reihen, die bei höheren Formen spiral aufgewunden sind.

7. Textulariidae: Textularia (seit Carbon, Fig. 173), Bolivina (seit Kreide, Fig. 177), Cassidulina.

5. Ordnung: Trochamminida.

Schale polythalam, imperforat, sandig, sandig-kalkig oder rein kalkig. Embryonalkammer ohne Hals, die folgenden Kammern einreihig plano-spiral oder doch nur um eine kurze Achse turbospiral aufgerollt.

8. Endothyridae. Schale mit kurzer Windungsachse, nie rein kalkig. Endothyra (nur im Carbon), Haplophragmium (seit Carbon), Trochammina (Fig. 35).

9. Fusulinidae. Kammern in der Richtung der Windungsachse stark in die Länge gezogen, mit innerem Stützskelett. Fusulina (Fig. 36).



Fig. 35.

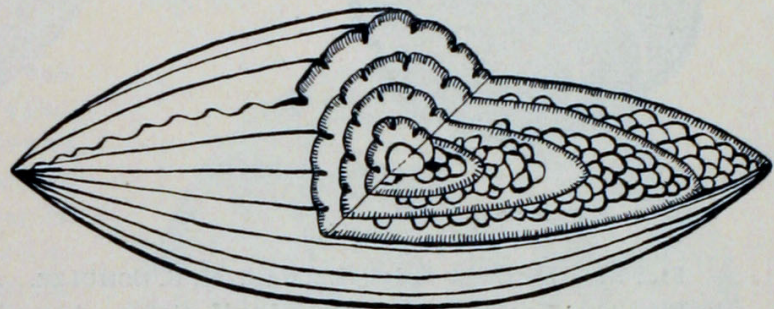


Fig. 36.

Fig. 35. **Trochammina coronata** BRADY. Schale der Fläche nach halbiert. Vergr. 20:1. Nach BRADY 1884.

Fig. 36. **Fusulina**. Die melonenartigen, von Pol zu Pol laufenden Streifen der Oberfläche entsprechen den auf dem Medial- (scheinbaren Quer-)Schnitt sichtbaren Kammersepten. Auf dem Axial- (scheinbaren Längs-)Schnitt sieht man innerhalb der Kammern das für die Fusulinen charakteristische Wabenwerk. Schema. Nach V. STAFF 1910.

6. Ordnung: Rotaliarida.

Schale stets kalkig-porös, frei oder festgewachsen, fast stets spiral aufgewunden, wenigstens die früheren Kammern; die später gebildeten Kammern aber oft unregelmäßig.

10. Rotaliidae. Nur auf einer Fläche der spiralen Schale sind die Kammern der inneren Umgänge sichtbar. Bei festgewachsenen Formen die Kammeranordnung meist unregelmäßig. Truncatulina (seit Carbon), Planorbulina (seit Lias), Pulvinulina (seit Carbon), Rotalia (seit Kreide, Fig. 37 u. 174), Discorbina (seit Kreide), Polytrema (vielleicht schon im Kohlenkalk).

11. Tinoporidae. Mit unregelmäßig gehäuften Kammern ohne jede größere gemeinsame Mündung. Tinoporus.

12. Globigerinidae. Pelagische Formen mit stark aufgetriebenen Kammern, die anfangs spiral, später zuweilen unregelmäßig angeordnet sind; Mündung oft recht groß, in Ein- oder Mehrzahl vorhanden. Globi-

gerina (seit dem Palaeozoicum?), Orbulina (Fig. 184), Hastigerina (Fig. 183).

13. Nummulitidae. Schale bilateral-symmetrisch, nautiloid mit wenigen Umgängen oder linsenförmig bis ganz abgeflacht mit zahlreichen Umgängen; die inneren Umgänge mehr oder weniger (oft vollkommen)

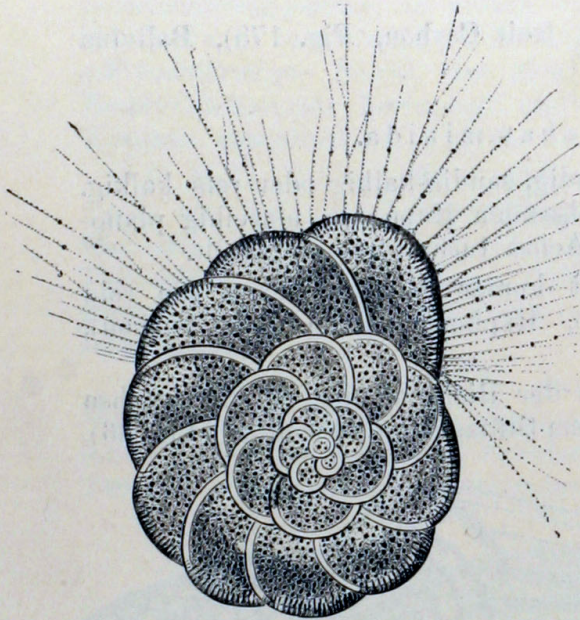


Fig. 37.

Fig. 37. **Rotalia freyeri**. Nach M. S. SCHULZE.

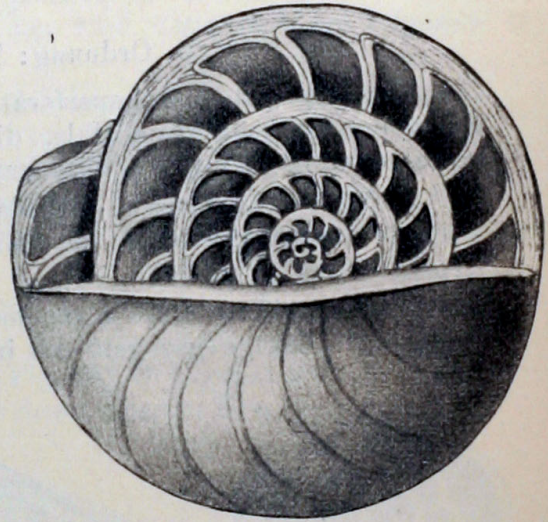


Fig. 38.

Fig. 38. **Nummulites cummingii** CARP. Angeschnitten, um die Kammerung der involut eingerollten Schale zu zeigen. Vergr. 20:1. Nach BRADY 1884.

verdeckt. Höhere Formen mit kompliziertem Kanalsystem. Nonionina, Polystomella (Fig. 180), Operculina (sämtlich seit Kreide); Nummulites (seit Kohlenkalk?, hauptsächlich im Tertiär, Fig. 38), Amphistegina (seit Kohlenkalk?), Assilina.

Anhang zu Foraminifera.

1. Nuda.

Unbeschalte, foraminiferenähnliche Sarcodinen mit Rhizopodien; wenig bekannt, zum Teil vielleicht nur nackte Durchgangsstadien echter beschalter Foraminiferenarten. Protogenes, Biomyxa, Arachnula, Pontomyxa, Protomyxa, Rhizoplasma, Dictyomyxa, Myxodictyum.

2. Xenophyophora.

Scheibenförmige, fächerförmige oder dendritisch verästelte, 2—7 cm große Tiefseeorganismen, die, früher für Hornschwämme gehalten, neuerdings in die Nähe der Foraminiferen gestellt werden. Der Weichkörper bildet zartwandige, strauchartig verästelte, zum Teil auch netzig verbundene, teils engere, teils weitere Röhren und ist in ein der Rhizopodenschale vergleichbares Gerüst von untereinander verkitteten Fremd-

körpern eingelagert. Psammina, Psammetta (Fig. 39 A u. 40), Stannoma (Fig. 39 B), Stannophyllum (Fig. 39 C).

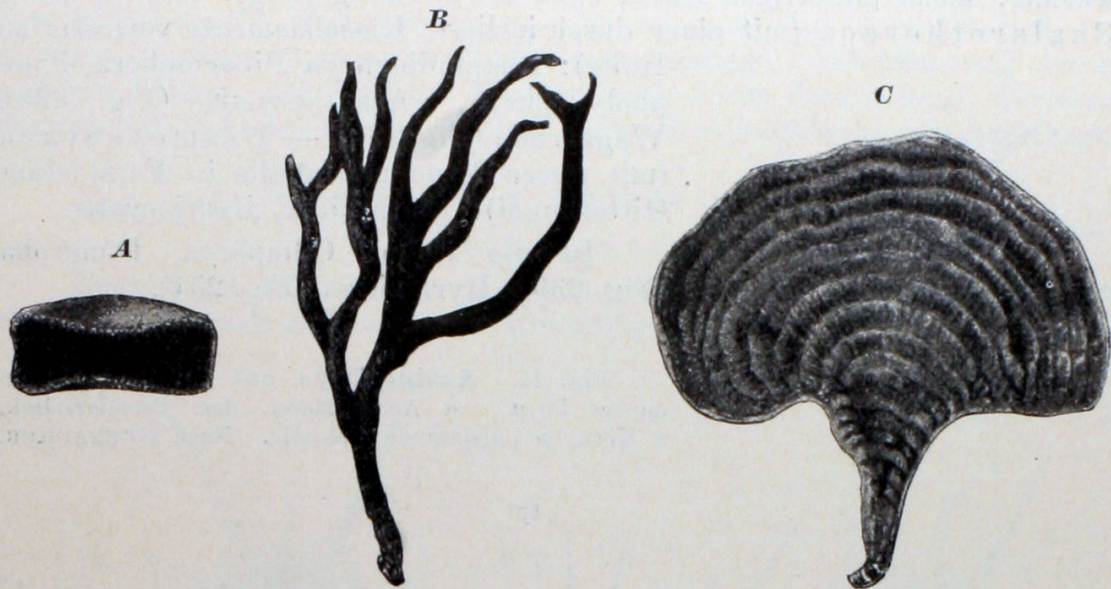


Fig. 39.

Fig. 39. **Habitusbilder von Xenophyophoren.** A Psammetta erythrocytomorpha F. E. SCH., senkrecht halbiert. B Stannoma dendroides H. C Stannophyllum zonarium H. Nach F. E. SCHULZE aus DOFLEIN.

Fig. 40. **Schnitt durch Psammetta erythromorpha** F. E. SCHULZE. Die groben dunkleren Röhren sind die Sterkomare, die feineren und blasseren die Granellare; zwischen ihnen die aus Kieselschwammnadeln bestehenden Xenophya. Vergr. 33 : 1. Nach F. E. SCHULZE aus DOFLEIN.



Fig. 40.

2. Unterklasse : Heliozoa, Sontentierchen.

Hüllenlose oder mit einer einfachen, häufig durch Einlagerung isolierter Kieselemente verfestigten, gallertigen oder pseudochitinen Hülle versehene Sarcodetierchen von meist kuglicher Gestalt, mit feinen, allseitig radiär ausstrahlenden, wenig zur Anastomosenbildung neigenden, durch festere Achsenfäden versteiften Pseudopodien (Axopodien). Das Protoplasma meist in eine grobkörnige und auch gröber vakuolisierte Rindensubstanz und eine feinkörnige Marksubstanz mit kleineren Vakuolen geschieden. Kern in Ein- oder Mehrzahl in der Marksubstanz, pulsierende Vakuole ebenfalls in Ein- oder Mehrzahl (selten fehlend) in der Rindensubstanz. Fortpflanzung durch Zweiteilung, Knospung oder multiple Teilung. Vorwiegend Süßwasserbewohner.

Aphrothoraca (ohne Hüllen): Actinophrys (Fig. 41), Actinosphaerium (Fig. 42), Camptonema (Fig. 222). — Chlamydophora (mit weicher, meist gallertiger Hülle, ohne Kieseleinlagerung): Actinolophus. Chalarothoraca (mit einer durch isolierte Kieselemente verfestigten Hülle): Rhaphidiophrys, Pinaciophora, Pompholyxophrys, Acanthocystis (Fig. 323), Wagnerella (Fig. 261). — Desmothoraca (mit fester Pseudochitinhülle in Form einer Gitterkugel): Clathrulina, Hedriocystis.

In die Nähe: Ciliophrys, Dimorpha (Fig. 239), Myriophrys (Fig. 251).

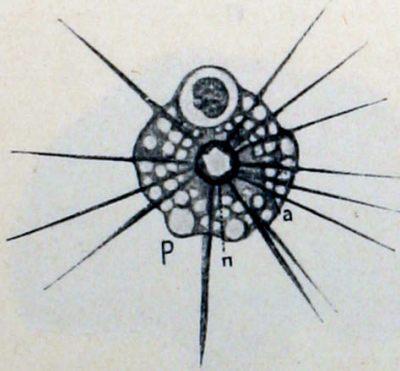


Fig. 41. **Actinophrys sol** EHRBG. Durchmesser 50 μ . a Achsenfäden der Pseudopodien, n Kern, p pulsierende Vakuole. Nach GRENACHER.

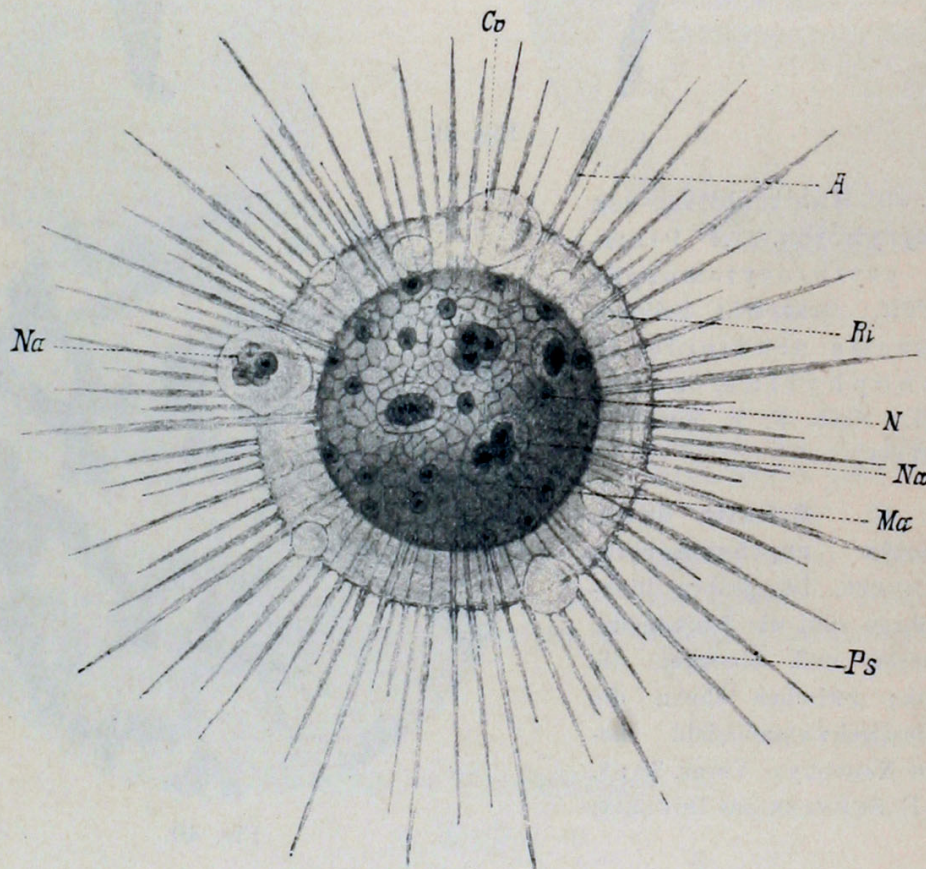


Fig. 42. **Actinosphaerium eichhorni** EHRBG. A Achsenfaden im Pseudopodium, Cv kontraktile Vakuole, Ma Marksubstanz, N Kerne, Na Nahrungsvakuole, Ps Pseudopodien, Ri Rindensubstanz. Vergr. 500:1. Aus DOFLEIN 1911.

3. Unterklasse: Radiolaria.

Körper durch eine ursprünglich kugelige oder eiförmige, von Oeffnungen durchsetzte Kapselmembran in eine innere, den Kern enthaltende „Zentralkapsel“ und den peripheren extrakapsulären Weichkörper gesondert. Letzterer besteht aus kernlosem Protoplasma und erscheint häufig grobschaumig infolge des Gehaltes an zahlreichen, großen, dichtgedrängten Gallert- oder Schleimvakuolen. Pseudopodien radiär ausstrahlend, sehr fein, meist ohne festere Achsenfäden, aber verhältnis-

mäßig starr, wenig zur Anastomosenbildung neigend. Pulsierende Vakuole fehlt. Meist ein aus Kieselsäure oder aus Strontiumsulfat bestehendes Skelett vorhanden, dessen außerordentliche Verschiedenartigkeit den wunderbaren Formenreichtum der so gut wie ausschließlich im marinen Plankton vertretenen Unterklasse bedingt. Fortpflanzung durch multiple Teilung, bei manchen Formen auch durch Zweiteilung. Einzelne Formen (Polycyttarien, Tuscaroren) durch Koloniebildung ausgezeichnet.

A. Mit Skelett aus Strontiumsulfat.

1. Ordnung: Acantharia.

Kern meist exzentrisch, sich früh teilend und so zu Vielkernigkeit führend. Kapselmembran ohne Hauptöffnung, allseitig von zahlreichen

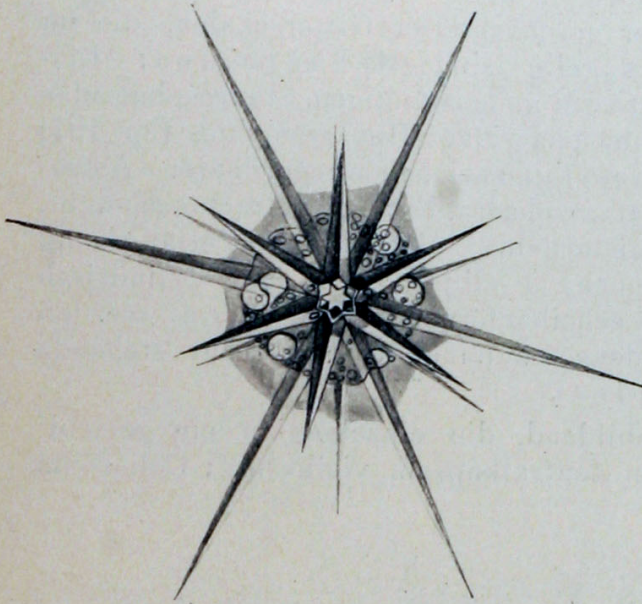


Fig. 43.

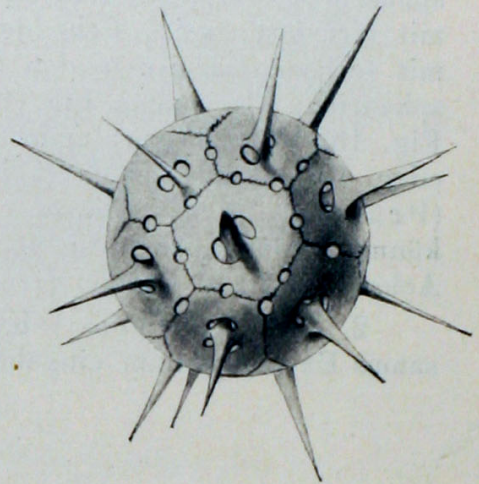


Fig. 44.

Fig. 43. **Trizona brandti** POP. Lateralansicht. Vergr. 640:1. Nach POPOFSKY 1904 (Orientierung nach MIELCK 1907).

Fig. 44. **Dorataspis loricata** H. Vergr. 400:1. Nach POPOFSKY 1906.

Poren durchsetzt, die regelmäßig in Gruppen oder Reihen angeordnet oder auch gleichmäßig verteilt sein können. Pseudopodien zum Teil mit Achsenfibrillen. Skelett von radiären, vom Mittelpunkt der Zentralkapsel ausstrahlenden und die Kapselmembran durchsetzenden Strontiumsulfatstacheln gelildet.

1. Acanthometra. Acantharien ohne Gitterschale. Actinelius, Podactinelius; Acanthochiasma (Fig. 189); Trizona (Fig. 43), Actinastrum; Acanthometron (Fig. 259), Phyllostaurus, Zygacanthidium; Lithoptera; Amphilonche, Amphilonchidium (Fig. 207); Cruciforma.

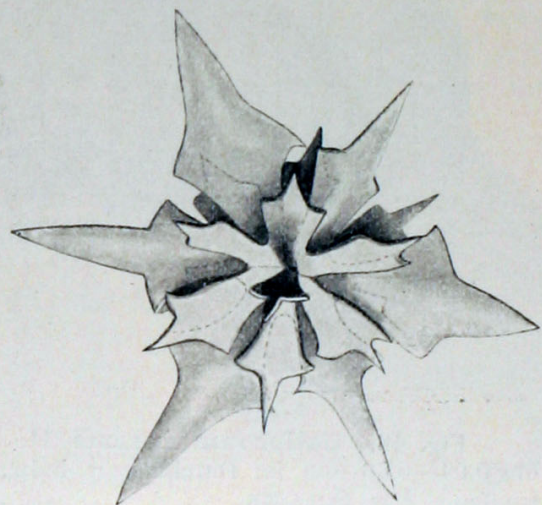


Fig. 45. **Hexalaspis heliodiscus** H. juv. (= *Rosetta elegans* POP.). (Im erwachsenen Zustand gitterschalig.) Lateralansicht. Vergr. 512:1. Nach POPOFSKY 1904 (Orientierung nach MIELCK 1907).

2. *Acanthophracta*. Acantharien, deren 20 Radiärstacheln durch eine kugelige, ellipsoide oder linsenförmige Gitterschale verbunden sind. *Astrocapsa*; *Icosaspis*, *Dorataspis* (Fig. 44); *Hexalaspis* (Jugendstadium mit noch unentwickelter Gitterschale: *Rosetta*, Fig. 45).

B. Mit Skelett aus Kieselsäure oder (selten) ohne Skelett.

2. Ordnung: Spumellaria.

Kern meist exzentrisch gelegen, groß, sich erst spät teilend, daher meist einfach. Kapselmembran ohne Hauptöffnung, überall gleichmäßig von Poren durchbohrt.

1. *Sphaerellaria*. Einzellebend, klein. Skelett in Form einer einfachen oder mehrerer ineinander geschachtelter Gitterschalen, die im einfachsten Falle homaxon und kugelig sind (*Sphaeroidea*: *Liosphaeridae* ohne, *Stylosphaeridae* mit zwei gegenständigen, *Staurosphaeridae* mit vier kreuzweise stehenden, *Cubosphaeridae* [*Hexacromyum*, Fig. 197] mit sechs paarweise in den drei Hauptdimensionen angeordneten, *Astrosphaeridae* [*Caryomma*, Fig. 196; *Heterosphaera*, Fig. 198; *Arachnospongius*, Fig. 199] mit 8 oder mehr Radialstacheln), aber infolge Verlängerung oder Verkürzung einer Achse monaxon ellipsoidisch oder zylindrisch (*Prunoidea*) bzw. linsen- oder scheibenförmig (*Discoidea*) werden können oder auch drei verschiedene, aufeinander senkrecht stehende Achsen besitzen können (*Larcoidea*).

2. *Polycyttaria*. Koloniebildend, die einzelnen in ein gemeinsames Extracapsulum eingebetteten Zentralkapseln vielkernig: *Collozoum*

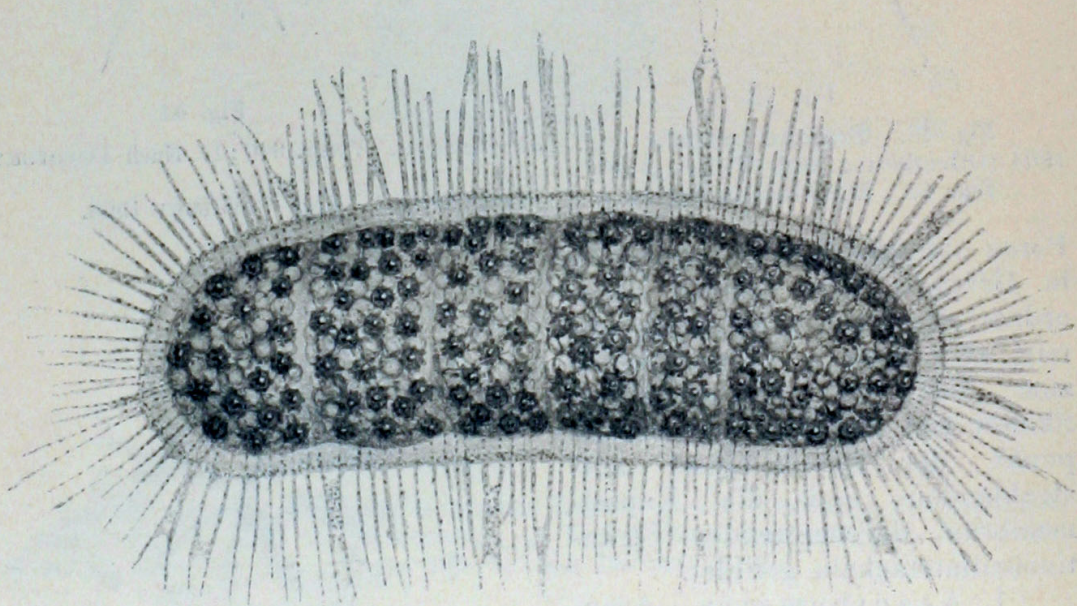


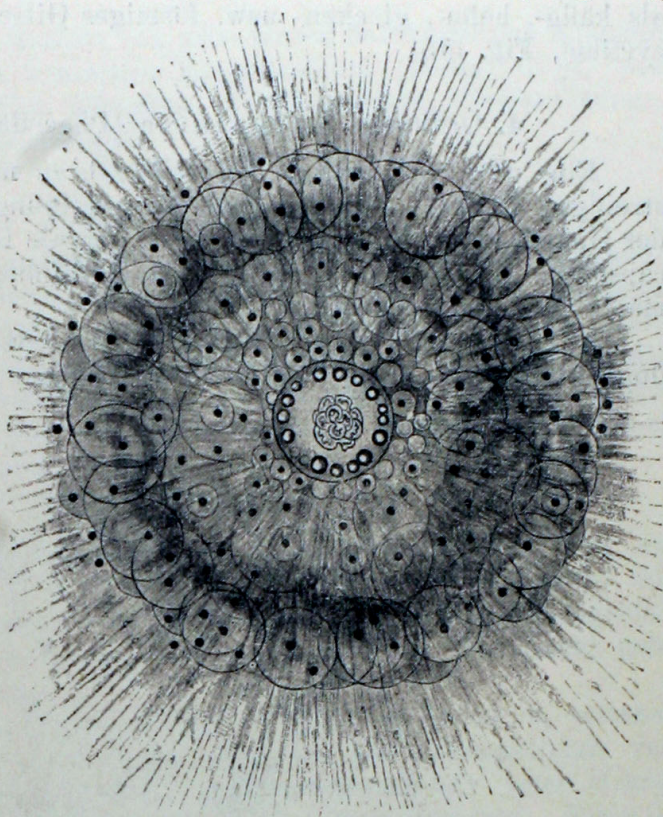
Fig. 46. *Collozoum inerme* H. Kleine Kolonie. Die dunklen Kugeln sind die 0,04—0,06 mm im Durchmesser haltenden Zentralkapseln mit ihrem zentralen Oeltropfen. Aus DOFLEIN.

(skelettlos, Fig. 46), *Sphaerozoum* (mit isolierten Kieselnadeln), *Collosphaera* (Skelett der Einzelindividuen eine Gitterkugel).

3. *Collodaria*. Einzeln lebende, meist sehr große Formen mit einem einzigen großen Kern, der bei *Thalassophysa* radiale Aussackungen

besitzt. Skelett fehlend oder von einzelnen kleinen Kieselnadeln gebildet (Thalassicolla, Fig. 47; Thalassophysa; Thalassoplaneta, Fig. 96), bei einigen Tiefseeformen von einem einzigen verzweigten Riesenspiculum (Thalassothamnus, Cytocladus) oder von einer komplizierten, derben Gitterschale mit verzweigten und bedornen Radialstacheln (Oroscena) gebildet.

Fig. 47. **Thalassicolla pelagica** H. Durchmesser 1—4 mm. Im Zentrum der Kern in der kugeligen Zentralkapsel, die außerdem zahlreiche Oelkugeln enthält. Um diese der extrakapsuläre Weichkörper mit Vakuolen, gelben Zellen (schwarz gezeichnet) und Pseudopodien. Aus HERTWIGS Lehrbuch.



3. Ordnung: Nassellaria (Monopylea).

Kern exzentrisch. Kapselmembran mit einer durch einen porösen Deckel verschlossenen Hauptöffnung am basalen Pole der Hauptachse, ohne Poren und ohne Nebenöffnungen. Skelett sehr mannigfaltig, bei den Plectoidea dreifußähnlich (Plectacantha, Fig. 201; Plagiocarpa,

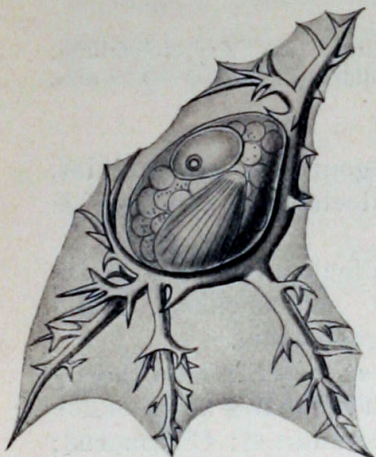


Fig. 48.

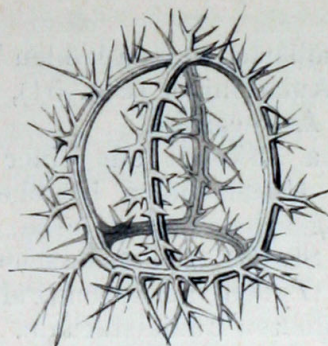


Fig. 49.

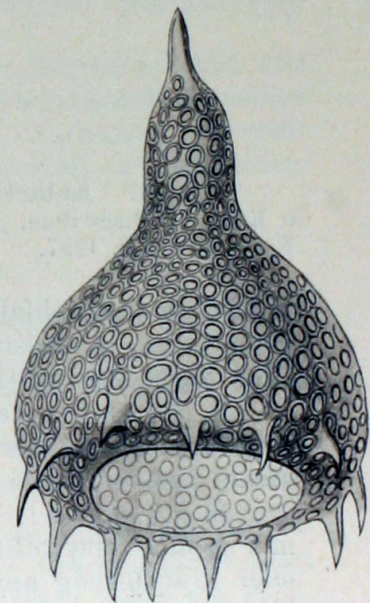


Fig. 50.

- Fig. 48. **Plagiocarpa procortina** H. Vergr. 200:1. Nach HAECKEL.
 Fig. 49. **Coronidium acacia** H. Vergr. 200:1. Nach HAECKEL.
 Fig. 50. **Anthocytium cineraria** H. Vergr. 300:1. Nach HAECKEL.

Fig. 48), bei den Stephoidea von zwei einander durchkreuzenden meridionalen Ringen gebildet (Coronidium, Fig. 49), bei den Cyrtellaria als käfig-, helm-, glocken- usw. förmiges Gitterwerk ausgestaltet (Anthocyrtium, Fig. 50).

4. Ordnung: Tripylaria (Phaeodaria, Cannopylea).

Ein- oder zweikernig. Kapselmembran mit einer durch einen radiärstreifigen Deckel verschlossenen Hauptöffnung am basalen (oralen) Pole der Hauptachse; ihr gegenüber zwei aborale Nebenöffnungen. Im Extracapsulum in der Umgebung der Hauptöffnung ein eigentümlicher Pigmentkörper (Phaeodium).

1. Phaeocystina. Skelett von isolierten, hohlen, die häufig verdoppelte Zentralkapsel nicht durchsetzenden Radialstacheln und einem

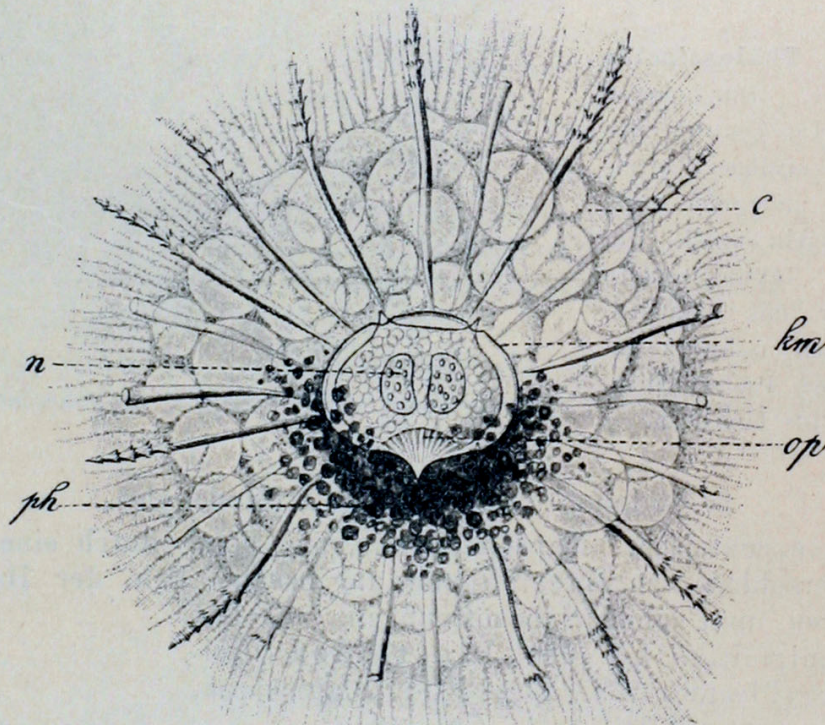


Fig. 51. **Aulactinium actinastrum** H. c Calymma, km Kapselmembran, n Kern, op Operculum, ph Phaeodium. Länge der hohlen Radiärstacheln 0,05—0,15 mm. Nach HAECKEL 1887.

Mantel von gleichfalls isolierten feinen hohlen Tangentialnadeln gebildet. Aulacantha, Auloceros, Aulactinium (Fig. 51), Aulocleptes, Aulographis (Fig. 203), Aulospaxis; Astracantha.

2. Phaeosphaeria. Skelett aus einer einfachen oder zwei in- einander geschachtelten Gitterschalen bestehend. Aulosphaera, Auloscena, Cannosphaera; Sagosphaera, Sagoscena, Sagenoarium.

3. Phaeocalpia. Skelett eine monaxone oder polyedrische Schale mit großer Hauptöffnung (Pylom) am oralen Pole und allseitig abgehenden oder kranzförmig angeordneten Radialstacheln. Castanidium; Circoporus; Tuscarora, Tuscarretta, Tuscarantha; Porospaxis.

4. Phaeogromia. Skelett bilateral symmetrisch, mit Pylom und bestimmt lokalisierten Radialstacheln. Challengeria; Medusetta, Planktonetta, Nationaletta.

5. *Phaeoconchia*. Skelett von zwei kräftigen, muschelähnlichen, schloßartig ineinander greifenden Klappen gebildet. *Conchoceras* (Fig. 101), *Concharium*.

6. *Phaeodendria*. Skelett von zwei zarten halbkugeligen Klappen gebildet, deren jede einen konischen Kuppelaufsatz (Helm) trägt, von dem verzweigte Radialstrahlen ausgehen. *Coelodendrium*, *Coelanthemum*, *Coelospathis* (Fig. 100), *Coeloplegma*.

III. Klasse: **Sporozoa**.

Endoparasitische einkernige Protozoen, die im erwachsenen Zustande keinerlei frei vorragende Bewegungsorganellen besitzen (nur bei Gameten kommen Geißeln vor). Ernährung osmotisch. Kontraktile Vakuole fehlt. Vermehrung durch multiple Teilung, erfolgt fast stets (bei dem häufig vorkommenden Generationswechsel aber nur in einer Generation) innerhalb einer Cyste, in der meist zahlreiche beschaltete Fortpflanzungskörper entstehen.

1. Ordnung: **Coccidia**.

Fast ausschließlich Zellschmarotzer, ohne Myoneme und im erwachsenen Zustande nie frei beweglich in Körperhöhlen. Stets mit deutlich ausgeprägtem Generationswechsel (Schizogonie und Sporogonie), Befruchtung oogam (d. h. nur in dem einen, männlichen, Geschlecht geht ihr eine Gamogonie voraus).

1. *Eimeridea*. Kugelige oder ovoide Sporozoen, meist in, seltener auf Epithelzellen schmarotzend. Makro- und Mikrogametocyten von nahezu gleicher Größe und getrennt voneinander reifend; jeder Mikrogametocyt produziert zahlreiche zweigeißlige Mikrogameten. *Eimeria*, *Isospora*, *Cyclospora*, *Barrouxia*, *Caryotropha*.

2. *Adeleida*. Ebenfalls vorwiegend Epithelzellschmarotzer von meist kugelig oder ovoider Form. Mikrogametocyten meist wesentlich kleiner als die Makrogametocyten, beide bilden vor ihrer Reifung Syzygien und jeder Mikrogametocyt produziert dann 4, meist geißellose, Mikrogameten. *Adelea*, *Legerella*, *Klossia*, *Orcheobius*.

3. *Haemogregarinida*. Schmarotzer roter Blutkörperchen von mehr oder weniger langgestreckter Form und mit Wirtswechsel zwischen Wirbeltier (meist Kaltblütern) und blutsaugenden Wirbellosen (soweit bekannt, Hirudineen und Acarinen). Entwicklung ähnlich den Adeleiden. *Haemogregarina*, *Caryolysus*, *Hepatozoon*.

2. Ordnung: **Aggregataria**.

Kugelige Sporozoen ohne Myoneme, mit Generations- und Wirtswechsel (zwischen Cephalopoden und decapoden Krustern), ohne jegliche Syzygienbildung. Befruchtung anisogam, aber beiderlei Gameten durch Gamogonie entstehend. *Aggregata*.

3. Ordnung: **Gregarinaria**.

Im erwachsenen Zustande meist frei beweglich in Darm oder Leibeshöhle von Wirbellosen (vorwiegend Anneliden und Arthropoden), meist wurmförmig verlängert, mit einer Schicht von Myonemen unter der Pelli-cula. Der Fortpflanzung geht eine sehr lange dauernde Wachstumsperiode voraus. Die Gametocyten ein Syzygium bildend und innerhalb einer gemeinsamen Cyste durch Gamogonie isogame oder anisogame

Gameten bildend, an deren Kopulation sich sofort innerhalb derselben Cyste die zur Bildung beschalter Fortpflanzungskörper führende Sporogonie anschließt.

a) Unterordnung: Schizogregarinaria.

Neben der mit Befruchtungsvorgängen verbundenen Vermehrung innerhalb einer Cyste (Gamogonie und Sporogonie) findet sich noch eine vegetative Vermehrung im nicht encystierten Zustande (Schizogonie). Ophryocystis (Fig. 279), Schizocystis, Selenidium, Merogregarina.

b) Unterordnung: Eugregarinaria.

Vegetative Vermehrung im nicht encystierten Zustande fehlend.

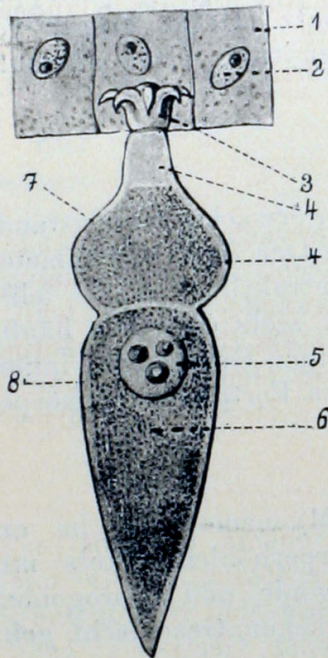


Fig. 52. **Corycella armata** LÉGER, 280—300 μ lang, im Darm der Larve eines Wasserkäfers (*Gyrinus natator*) schmarotzend. 1 Darmepithelzellen des Wirtes, ganz schematisch gezeichnet, 2 deren Kerne, 3 das in einer Epithelzelle steckende Epimerit, 4 Ektoplasma, 5 Kern, 6 Endoplasma, 7 Protomerit, 8 Deutomerit. Nach LÉGER 1892, etwas ergänzt.

1. Monocystidae s. Acephalina. Körper einheitlich, ohne Epimerit. Vorwiegend Leibeshöhlenbewohner. Monocystis, Urospora, Lankesteria.

2. Polycystidea s. Cephalina. Körper meist durch eine ektoplasmathe Scheidewand in zwei Abschnitte geteilt (Proto- und Deutomerit), deren hinterer den Kern birgt. Am Vorderende ein die Fixierung am Darmepithel des Wirtes vermittelnder Fortsatz (Epimerit). Gregarina (Fig. 156), Didymophyes, Stenophora, Dactylophorus, Echinomera (Fig. 283 E), Pterocephalus (Fig. 282 und 283), Actinocephalus, Pyxinia (Fig. 280), Corycella (Fig. 52), Stylophynchus.

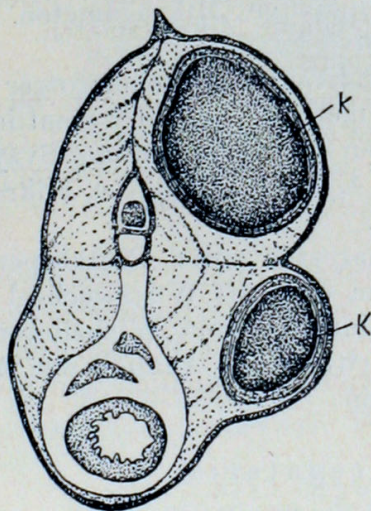


Fig. 56.

Fig. 56. Querschnitt durch einen Stichling, **Gasterosteus aculeatus**, in dessen Muskulatur zwei Cysten (k) von **Nosesma anomalum** getroffen sind. Nach THÉLOHAN.

Fig. 56 a. **Plistophora typicalis** GURLEY. Aus der Muskulatur von Fischen. Spore mit ausgestülptem Polfaden. Nach THÉLOHAN aus DOFLEIN.



Fig. 56 a.

IV. Klasse: Cnidosporidia.

Endoparasitische, mehr- bis vielkernige Sporozoen, zum Teil mehr oder weniger amöboid in flüssigkeitserfüllten Hohlorganen (vorwiegend Gallen- und Harnblase), zum Teil ohne Bewegungsorganellen in Geweben schmarotzend. Vermehrung durch Bildung beschalter, mit nesselkapselähnlichen „Polkapseln“ versehener Fortpflanzungskörper (Cnidosporen) im Innern des Plasmakörpers.

1. Ordnung: Microsporidia.

Cnidosporen ovoid, mit einer Polkapsel, entstehen zu 4, 8 oder vielen in einem Pansporoblasten. Thelohania, Plistophora (Fig. 56 a), Glugea, Nosema (Fig. 56; N. bombycis, Erreger der „Pebrine“-Krankheit der Seidenraupe).

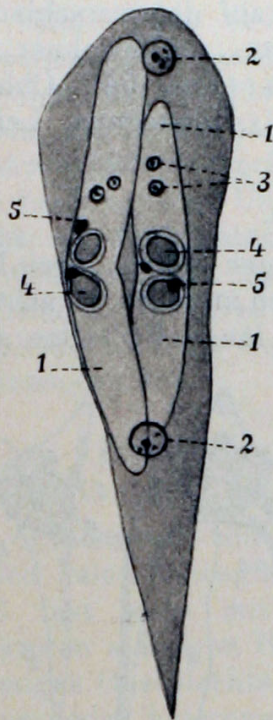


Fig. 53.

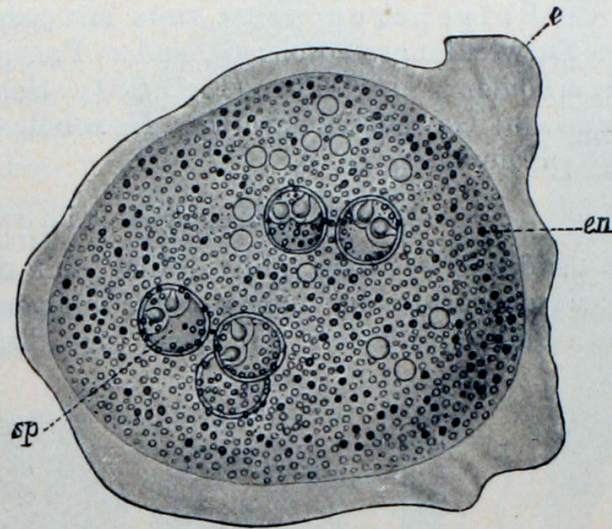
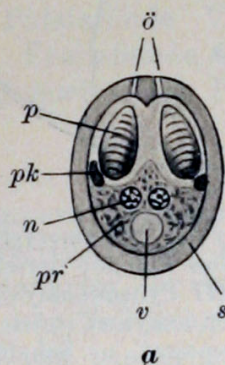


Fig. 54.

Fig. 54. **Sphaerospora divergens** THÉL. (Durchmesser bis 65 μ), aus den Nierenkanälchen von Mittelmeerfischen. e Ektoplasma mit Pseudopodien, en körniges Endoplasma, sp in diesem eingelagerte Cnidosporen. Nach DOFLEIN 1911.

Fig. 53. **Ceratomyxa inaequalis** DOFL. (Länge 20—40 μ) aus der Gallenblase des Mittelmeerfisches Crenilabrus. 1 Die beiden Cnidosporen, 2 bei der Cnidosporenbildung im Plasma verbliebene „Restkerne“, 3 die Cnidosporenkerne (Kerne der künftigen Amöboidkeime), 4 Polkapseln, 5 Kerne der Bildungszellen der Polkapseln. Nach DOFLEIN 1898.



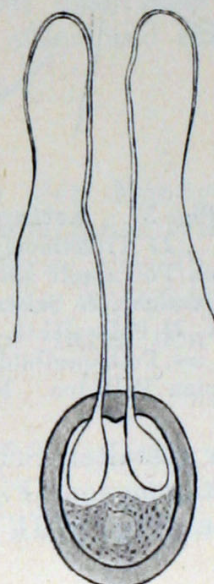
a



b



c



d

Fig. 55. **Cnidospore von Myxobolus spec.** Halbschematisch. Nach SCHRÖDER 1911. a Flächenansicht bei eingestülpten Polfäden. n Kerne des Weichkörpers (in Zweifelszahl), ö Öffnungen in der Schale zum Durchtritt der Polfäden, p Polkapsel mit dem spiralig aufgerollten Polfaden, pk Polkapselbildungskern, pr Weichkörper (Amöboidkeim oder Sporoplasma), s Schale, v jodophile Vakuole. b Kantenansicht der zweiklappigen Cnidosporenschale. c Optischer Längsschnitt durch eine Schalenklappe (die feine Linie links bezeichnet die Ebene, in der die beiden Klappen aneinander schließen). d Flächenansicht der Cnidospore mit ausgeschnellten Polfäden (Kerne nicht dargestellt).

2. Ordnung: Myxosporidia.

Cnidosporen mit zweiklappiger Schale, bilateral-symmetrisch, mit zwei oder vier Polkapseln und nur einem Amöboidkeim, entstehen stets zu je zwei in einem Pansporoblasten.

1. Disporea. Amöboid bewegliche kleine Myxosporidien, die stets nur 2 Cnidosporen bilden. Leptotheca, Ceratomyxa (Fig. 53).

2. Polysporea. Fast stets mit zahlreichen, auf den verschiedensten Entwicklungsstadien stehenden Pansporoblasten. a) Bewohner von Körperhöhlen; Myxidium (Fig. 284), Sphaerospora (Fig. 54), Chloromyxum, b) Gewebsschmarotzer: Myxobolus (Fig. 55), Henneguya, Lentspora, Hoferellus.

3. Ordnung: Actinomyxidia.

Cnidosporen dreistrahlig radiär, mit dreiklappiger Schale, drei Polkapseln und acht oder mehr Amöboidkeimen, entstehen stets zu je acht in einem Pansporoblasten und sind zum Teil durch lange Fortsätze sehr

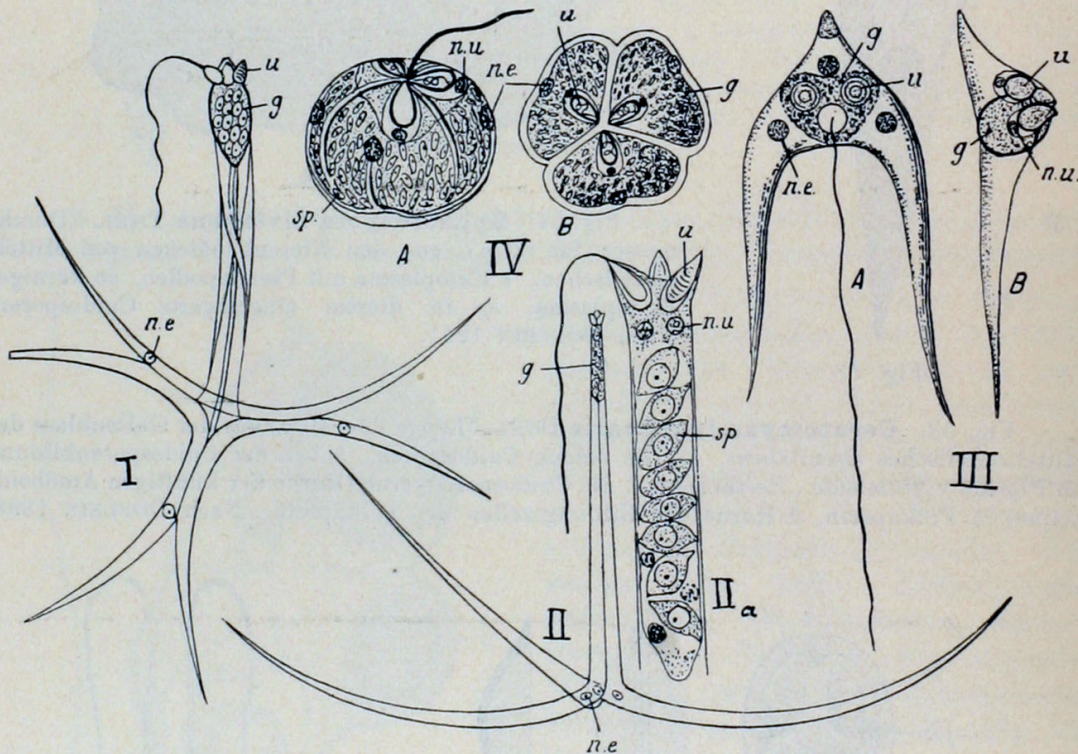


Fig. 57. **Actinomyxiden-Sporen.** I Hexactinomyxon psammoryctis. Vergr. 450:1. II Triactinomyxon ignotum. Vergr. 250:1. IIa Das Polende derselben Spore mit den Polkapseln und Amöboidkeimen. Vergr. 900:1. III Synactinomyxon tubificis (A Polansicht, B Seitenansicht). Vergr. 900:1. IV Sphaeractinomyxon stolci (A Seitenansicht, B Polansicht). Vergr. 900:1. g Plasmatische „Keimmasse“, ne Schalenbildungskern, nu Polkapselbildungskern, sp Amöboidkeime, u Polkapseln, zum Teil mit ausgestülpten Polfäden. Nach einer Zusammenstellung von CAULLERY und MESNIL.

bizarr gestaltet. Schmarotzer von Tubificiden. Hexactinomyxon (Fig. 57 I), Triactinomyxon (Fig. 57 II), Synactinomyxon (Fig. 57 III), Sphaeractinomyxon (Fig. 57 IV).

In die Nähe der Cnidosporidien werden in der Regel auch zwei Ordnungen gestellt, deren natürliche Verwandtschaft noch wenig geklärt ist:

Ordnung: Sarcosporidia.

Schmarotzer quergestreifter Muskelfasern, meist langgestreckt, schlauchförmig, seltener ovoid. Bilden in ihrem Innern zahlreiche nackte sichelförmige Fortpflanzungskörper. Sarcocystis (Fig. 58).

Ordnung: Haplosporidia.

Sehr kleine endoparasitische Protisten, die in zahlreiche, meist kugelige bis ovoide, von einer festen Hülle umschlossene Fortpflanzungskörper zerfallen. Scheinen nach neueren Untersuchungen nicht zu den Protozoen, sondern zu den niederen Pilzen (Phycomyceten) zu gehören! Bertramia, Haplosporidium, Coelosporidium, Rhinosporidium.

II. Unterstamm:
Infusoria (Cytoida, Ciliophora).

Protozoen mit zahlreichen Cilien als Bewegungsorganellen und fast stets mit einem oder mehreren massigen Haupt- oder Großkernen und einem bis vielen bläschenförmigen Geschlechts- oder Kleinkernen. Befruchtung in Form von (allelögamer oder heterogamer) Konjugation, an die sich keine besondere Fortpflanzungsform anschließt; daher Fehlen eines typischen Generationswechsels.

I. Klasse: **Ciliata** (Wimper-Infusorien).

Vorwiegend einzeln lebende, seltener kolonienbildende Infusorien, deren Wimperkleid dauernd erhalten bleibt und auch der Nahrungsaufnahme dient. Pulsierende Vakuole, Zellmund und Zellafter fast stets vorhanden. Freilebende und festsitzende Bewohner des süßen und salzigen Wassers, sowie auch Parasiten.

1. Ordnung: Holotricha.

Wimpern gleichartig ausgebildet, höchstens in der Mundgegend etwas kräftiger, aber nie Membranellen bildend. Verteilung der Wimpern verschiedenartig, entweder gleichmäßig über den Körper verteilt, oder auf die zum Teil sehr reduzierte Bauchfläche beschränkt, zuweilen auch in Form von einem oder zwei gürtelförmigen Wimperringen den sonst nackten Körper umziehend.

1. Unterordnung: Gymnostomata.

Zellenmund nur während der Nahrungsaufnahme offen; ohne undulierende Membran; räuberisch lebende Infusorien, die zum Teil Protozoen, die größer wie sie selbst sind, verschlingen.

1. Anscheinend ursprüngliche, vielkernige Formen ohne dauernden Kerndimorphismus; Mikronucleus nur vor und bei der Konjugation nachgewiesen: Trachelocerca, Dileptus, Loxodes. — In die Nähe wohl auch die

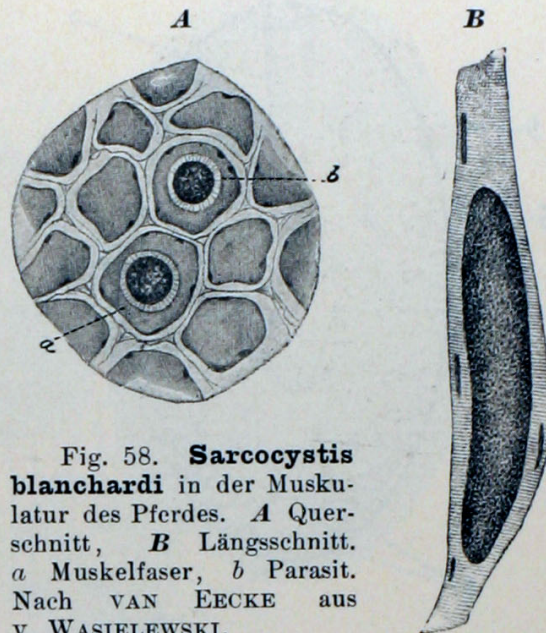


Fig. 58. **Sarcocystis blanchardi** in der Muskulatur des Pferdes. **A** Querschnitt, **B** Längsschnitt. *a* Muskelfaser, *b* Parasit. Nach VAN ECKE aus V. WASIELEWSKI.

durch Parasitismus rückgebildete Opalina ohne Cytostom (Ernährung rein osmotisch), ohne kontraktile Vakuolen und ohne Mikronucleus, mit an die Plasmodien erinnernden Befruchtungsvorgängen.

2. Formen mit dauernd persistierendem Kerndimorphismus: Holophrya, Enchelys, Chaenea, Trachelophyllum, Prorodon (Fig. 59), Coleps (Fig. 327), Didinium (Fig. 113), Actinobolus, Nassula (Fig. 60), Trachelius, Chilodon. — In die Nähe wohl auch als durch Parasitismus

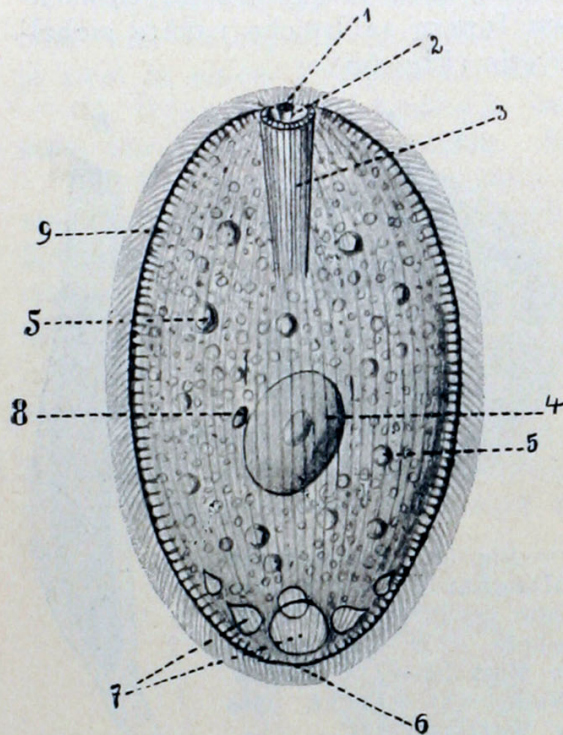
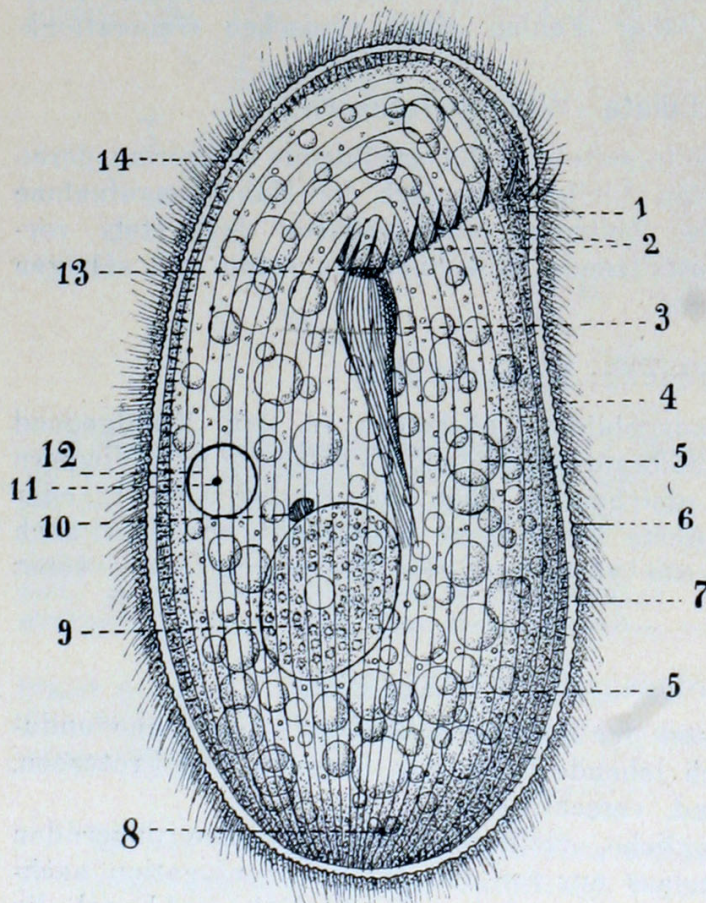


Fig. 59. **Prorodon teres** EHRBG. von der Seite. Vergr. 520:1. 1 Cytostom (Zellenmund), 2 Cytopharynx (Zellenschlund), 3 aus einzelnen Stäbchen bestehender Reusenapparat (vgl. Fig. 295), 4 Makronucleus, 5 Nahrungskörper, 6 Cytopyge (Zellenafter), 7 pulsierende Vakuole (Hauptvakuole umgeben von Bildungsvakuolen), 8 Mikronucleus, 9 Pellucula mit darunterliegender Alveolarschicht des Ektoplasmas. Nach SCHEWIAKOFF 1889.

rückgebildete Form Ichthyophthirius mit einem großen massigen Makronucleus und nur zeitweise nachweisbarem Mikronucleus.



2. Unterordnung: Hymenostomata.

Zellmund dauernd offen, eine oder mehrere undulierende Membranen vorhanden; Saprophyten. Colpoda (Fig. 158), Colpidium, Frontonia, Glaucoma, Uronema, Paramecium (Fig. 109), Urocentrum, Pleuronema (Fig. 61).

Fig. 60. **Nassula elegans** EHRBG. (0,1—0,14 mm lang und 0,06—0,09 mm breit), von der Bauchseite. 1 Pigmentfleck, 2 adorale Wimperzone, 3 Cytopharynx, 4 Gallerthülle, 5 Nahrungskörper, 6 Pellicula, 7 homogene Schicht des Ektoplasmas, 8 Cytopyge, 9 Makronucleus, 10 Mikronucleus, 11 Mündungsstelle der pulsierenden Vakuole, 12 pulsierende Vakuole, 13 Cytostom, 14 Trichocystenschicht. Nach SCHEWIAKOFF 1889.

3. Unterordnung: Astomata.

Zellmund und Zellafter fehlen. Kerndimorphismus und meist auch kontraktile Vakuolen (im Gegensatz zu der ganz abweichenden Opalina) in typischer Weise ausgebildet. Endoparasiten mit osmotischer Ernährung:

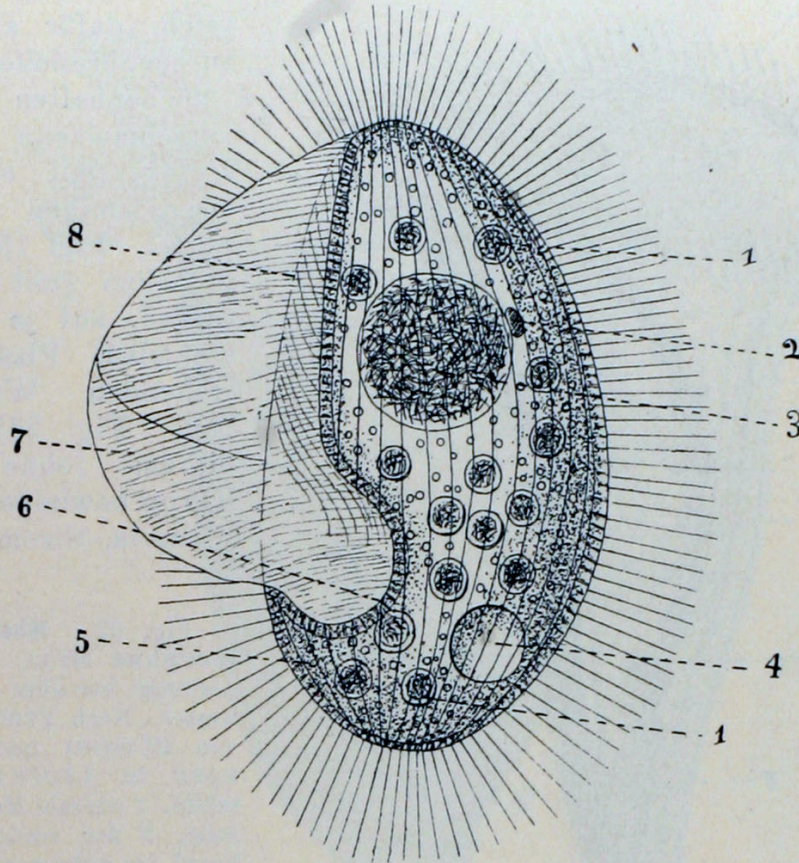


Fig. 61. **Pleuronema chrysalis** EHRBG. (0,068—0,083 mm lang, 0,037—0,042 mm breit), von der linken Seite. 1 Nahrungsvakuolen, 2 Mikronucleus, 3 Makronucleus, 4 pulsierende Vakuole, 5 Cytopyge, 6 Cytopharynx, 7 undulierende Membran, 8 rechtsseitiger Peristomrand. Nach SCHEWIAKOFF 1889.

Intoshellina (Fig. 296), Anoplophrya, Hoplitophrya (Fig. 274 und 275), Haptophrya (Fig. 313), Discophrya, Steinella, Maupasella (Fig. 276), Collinia, Rhizocaryum, Foettingeria.

2. Ordnung: Heterotricha.

Mit stets wohlausgebildeter, aus Membranellen zusammengesetzter linksgewundener adoraler Zone. Der übrige Körper in der Regel allseitig und gleichmäßig bewimpert ohne Differenzierung besonderer Bauch- und Rückencilien.

1. Heterotricha s. str. (Polytrichidea). Allgemeine Körperbewimperung gut ausgebildet. Plagiotoma, Spirostomum (Fig. 268), Bursaria (Fig. 297), Nyctotherus (Fig. 312), Balantidium, Climacostomum, Condyllostoma, Maryna, Stentor (Fig. 62), Folliculina (Fig. 167).

2. Tintinnodea. Planktonische Infusorien, deren allgemeine Körperbewimperung zwar vorhanden, aber infolge Ausbildung eines das ganze Tier umschließenden Gehäuses nur schwach entwickelt ist. Dictyocysta (Fig. 168, 1); Tintinnus (Fig. 168, 5), Tintinnopsis, Tintinnidium, Codonella

(Fig. 169), Cyttarocyclis (Fig. 300), Coxliella (Fig. 168, 3), Ptychocyclis (Fig. 168, 2), Xystonella (Fig. 168, 4), Undella, Rhabdonella (Fig. 168, 6).

3. Oligotricha (s. str.). Bewimperung des Körpers nicht allgemein, sondern sehr stark, nicht selten vollständig rückgebildet. Wo Körper-

wimpern vorhanden sind, sind dieselben wenig zahlreich, dafür aber häufig zu membranellenähnlichen flächenhaften Gebilden

verschmolzen. Ophryoscolex (mit einem hufeisenförmigen Wimpergürtel, Fig. 154), Cycloposthium (mit zwei isolierten, auf je einem retraktilen Plasmafortsatz stehenden Wimpergruppen, Fig. 248), Entodinium (ohne jegliche Körperbewimperung). — Halteria, Strombidium.

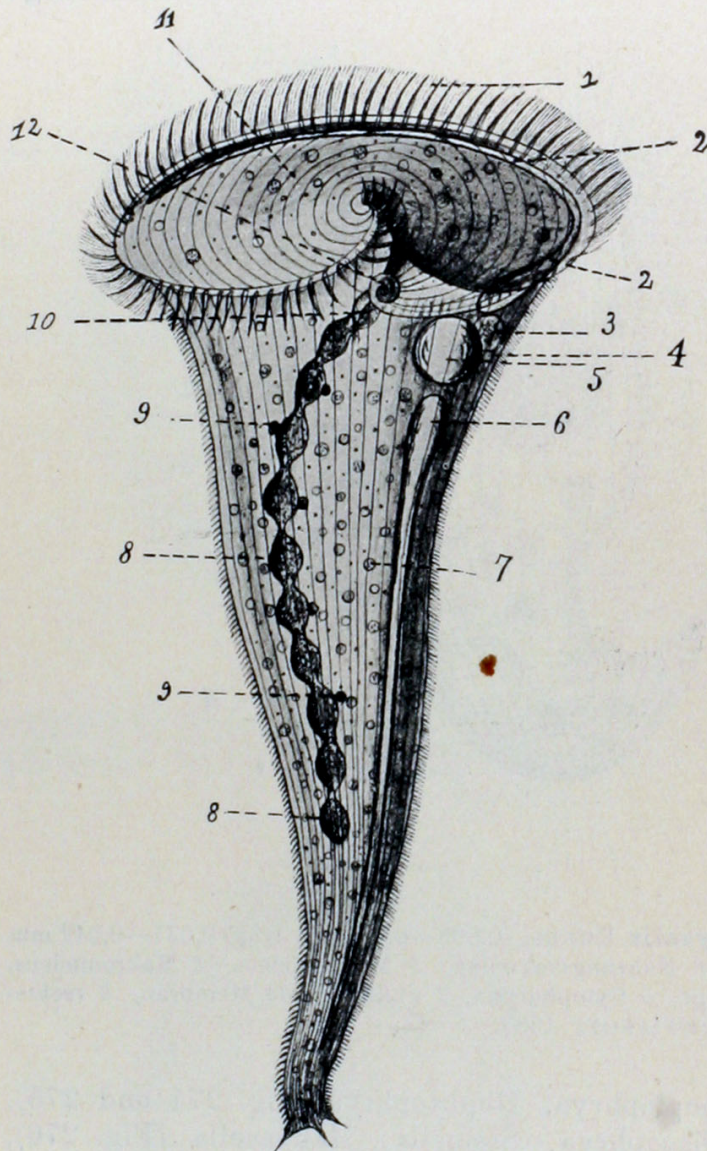


Fig. 62. **Stentor polymorphus** MÜLL. Länge ausgestreckt bis über 1 mm. Süßwasser. Nach STEIN, verändert von BÜTSCHI und SCHEWIAKOFF in LEUCKARTS Wandtafeln. 1 adorale Membranellenzone, 2 der vordere Sammelkanal der pulsierenden Vakuole, 3 Kotvakuole kurz vor ihrer Entleerung, 4 Cytopyge, 5 pulsierende Vakuole, 6 deren hinterer Sammelkanal, 7 Zoochlorellen, 8 perlschnurförmiger Makronucleus, 9 Mikronuclei, 10 Cytopharynx (die Verweislilie geht ein wenig zu weit), 11 Stirnfeld, 12 Cytostom.

3. Ordnung: Hypotricha.

Körper dorsoventral abgeflacht. Auf der gewölbten Rückenfläche keine lokomotorischen Wimpern, sondern nur Tastborsten. Auf der flachen Bauchfläche außer der kräftigen linksgewundenen adoralen Membranellenzone verschieden differenzierte, aus verschmolzenen Cilien bestehende Cirren, auf denen die Infusorien laufen. Epiclintes, Holosticha, Uroleptus, Oxytricha (Fig. 122), Stylonychia (Fig. 302), Euplotes (Fig. 247 und 325), Ancistropodium (Fig. 270).

4. Ordnung: Peritricha.

Außer der adoralen Zone höchstens noch ein das Hinterende des Körpers umgürtender Wimperring vorhanden, dessen einzelne Cilien in verschiedener Weise zu flächenhaften Gebilden verwachsen sind, der aber bei festsitzenden Formen fehlt.

1. Adorale Zone linksgewunden und in der gewöhnlichen Weise von zahlreichen quer zur Spiralrichtung stehenden Membranellen oder

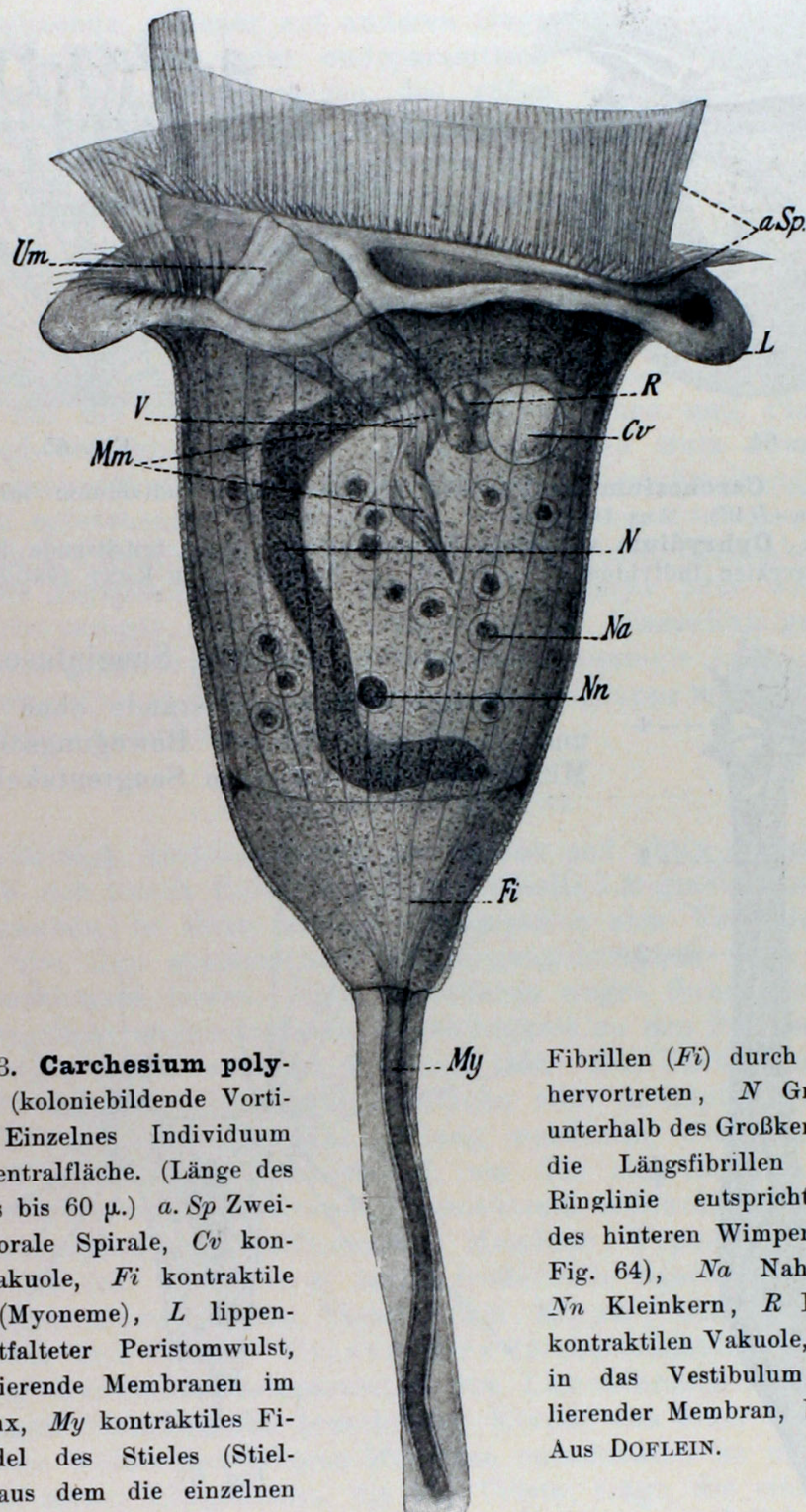


Fig. 63. **Carchesium poly-pinum** L. (koloniebildende Vorticellide). Einzelnes Individuum von der Ventralfläche. (Länge des Einzeltieres bis 60 μ .) *a. Sp* Zweireihige adorale Spirale, *Cv* kontraktile Vakuole, *Fi* kontraktile Fibrillen (Myoneme), *L* lippenförmig entfalteter Peristomwulst, *Mm* undulierende Membranen im Cytopharynx, *My* kontraktiles Fibrillenbündel des Stieles (Stielmuskel), aus dem die einzelnen

Fibrillen (*Fi*) durch Aufpinselung hervortreten, *N* Großkern (die unterhalb des Großkernes sichtbare, die Längsfibrillen verbindende Ringlinie entspricht der Lage des hinteren Wimperkranzes, vgl. Fig. 64), *Na* Nahrungsvakuole, *Nn* Kleinkern, *R* Reservoir der kontraktilen Vakuole, *Um* Eingang in das Vestibulum mit undulierender Membran, *V* Vestibulum. Aus DOFLEIN.

rudimentär und von einfachen Wimpern gebildet. Spirochona (Fig. 305), Licnophora (Fig. 216).

2. Adorale Zone rechtsgewunden und (wenigstens bei den neuerdings genau untersuchten Formen) von zwei in der Spiralrichtung konzentrisch verlaufenden undulierenden Membranen gebildet. Trichodina (Fig. 249), Cyclochaeta, Hemispeira, Vorticella, Carchesium (Fig. 63, 64),

Zoothamnium, Epistylis, Campanella (Fig. 304), Opercularia, Ophrydium (Fig. 65, 66), Cothurnia, Lagenophrys.

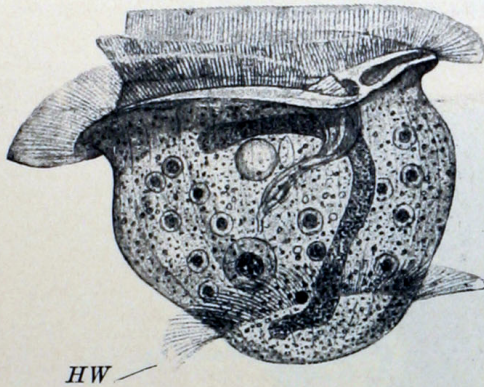


Fig. 64.

Fig. 64. **Carchesium polypinum** L. Losgelöstes Individuum mit hinterem Wimperkranz (HW). Aus DOFLEIN.

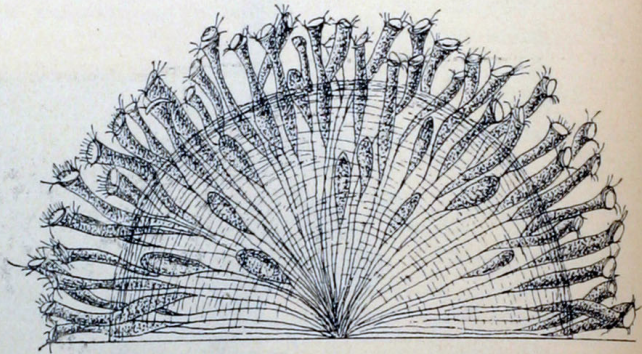


Fig. 65.

Fig. 65. **Ophrydium versatile** EHRBG. Mäßig große festsitzende Kolonie mit völlig vorgestreckten Individuen. Vergr. 56:1. Nach SAVILLE KENT 1880/82.

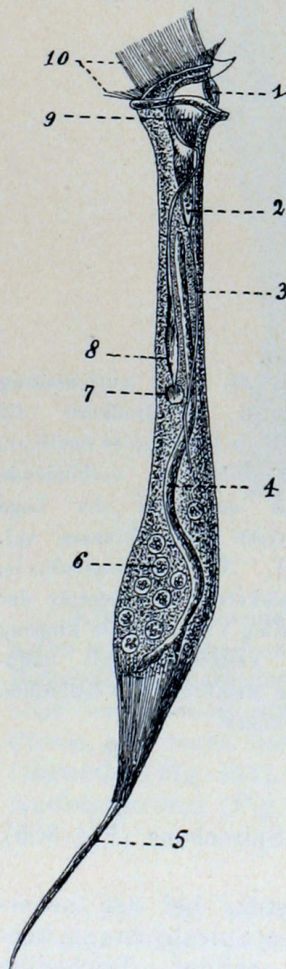


Fig. 66.

II. Klasse: Suctoria, Sauginfusorien.

Im erwachsenen Zustande ohne Wimpern und auch ohne andere Bewegungsorganellen. Mit einem oder mehreren Saugtentakeln. Ohne

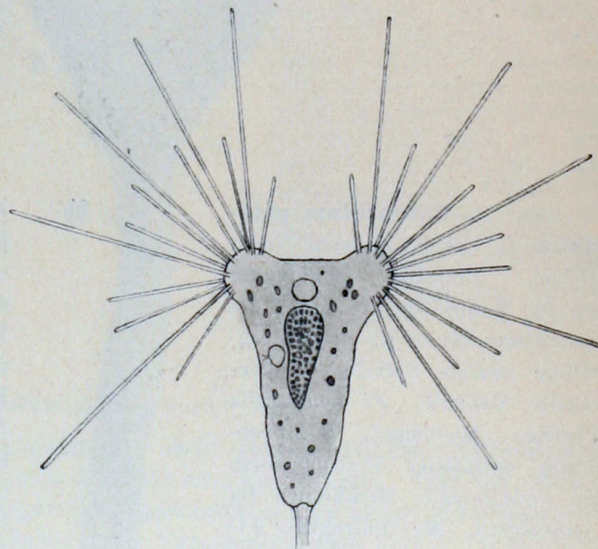


Fig. 67.

Fig. 66. **Ophrydium versatile** EHRBG. Ausgestrecktes Einzeltier, bis 500 μ lang. 1 Eingang zum Vestibulum (9), 2 Cytostom (im Grunde des Vestibulums), 3 langer, enger, röhrenförmiger Cytopharynx, 4 bandförmiger Makronucleus, 5 Stiel, 6 Nahrungsvakuolen, 7 pulsierende Vakuole, 8 Bildungsvakuole der letzteren, 9 Vestibulum, 10 adorale Zone. Vergr. 320:1. Nach WRZESNIOWSKY 1877.

Fig. 67. **Tocophrya quadripartita** CL. & L. Nach FILIPJEV 1911.

Zellmund und Zellafter, aber mit kontraktile Vakuole. Mit Großkern und Kleinkern. Fortpflanzung vorwiegend durch Bildung sich lösender bewimperter Knospen. Meist als Raumparasiten auf anderen Tieren festsitzende, seltener auf anderen Gegenständen (z. B. Metacineten auf Algen) angeheftete oder endoparasitisch (z. B. Sphaerophrya in Paramaecium) lebende Protozoen des süßen und salzigen Wassers. Hypocoma, Urnula (Fig. 145, 1), Podophrya, Ephelota (Fig. 343), Tocoprya (Fig. 67), Acineten, Dendrosoma (Fig. 145), Dendrocometes (Fig. 309), Ophryodendron, Trichophrya, Solenophrya.

Anhang zu den Protozoen.

1. Mycetozoa s. Myxomyceta.

Werden von einzelnen Forschern den Sarcodinen angeschlossen, in Rücksicht auf die vegetativen Formen (Myxamöben und Plasmodien), die amöboid beweglich und in der Jugend auch trotz abweichenden Kernbaus amöbenähnlich sind, später aber durch Verschmelzung mehrerer Myxamöben entstehende, von netzförmig verbundenen Strängen gebildete und oft mehrere Zentimeter im Durchmesser messende Plasmakörper darstellen. Die Fortpflanzung, die unter Bildung mehr oder weniger gestielter derbwandiger, die Sporen umschließender, blasenförmiger Fruchtkörper (Sporangien) erfolgt, hat aber keinerlei Analogie unter den Protozoen, sondern verweist die eigenartige Organismengruppe unter die niederen Pilze. Fuligo (Aethalium), Plasmodiophora.

2. Spirochaetoidea.

Fadenförmige, korkzieherartig gewundene und aktiv biegsame Organismen, die sich durch Rotation um ihre ideelle Längsachse lebhaft vorwärts schrauben, in ihrer feineren Organisation aber Verschiedenheiten aufweisen, die ihre systematische Zusammengehörigkeit noch nicht als gesichert erscheinen lassen. Hier anzuführen wegen ihrer zeitweise von einigen Forschern angenommenen Zugehörigkeit zu den Protozoen, trotzdem sich diese nicht aufrecht erhalten läßt. Die Vermehrung erfolgt anscheinend ausschließlich durch (einfache oder multiple) Querteilung. Spirochaeta (große, bis 500 μ lang werdende, freilebende Saprophyten mit gradlinigem Achsenfaden, um den sich der einschichtige, wabige, Volutinkörner enthaltende Plasmakörper schraubenförmig herumlegt, ohne morphologisch differenzierte Membran; Typus: Sp. plicatilis). Saprospira (ca. 18—100 μ lange freilebende Saprophyten mit aus einer einzigen Alveolenreihe bestehendem Körper, ohne Achsenfaden, Volutinkörner und Crista). Cristispira (verhältnismäßig große, bis ca. 200 μ lang werdende Darmparasiten von Lamellibranchiern, deren aus einer einzigen Alveolenreihe bestehender Körper von einer sehr dünnen, aber ziemlich widerstandsfähigen Membran umschlossen ist und auf einer Seite einen zarten Längskamm, die sog. Crista, trägt, die einer undulierenden Membran analog erscheint, ohne Achsenfaden und Volutinkörner; hierher Cr. balbianii, anodontae, modiolae, limae, pectinis u. a.). Spiroschaudinnia (kleine, kaum über 20 μ lang werdende Blutparasiten von Warmblütern vom Typus der Sp. recurrentis, ohne Achsenfaden und ohne Crista; hierher außer den Erregern der verschiedenen Formen des menschlichen Rückfallfiebers Sp. anserina, gallinarum u. a.). Treponema (kleine ca. 6—20 μ lange Gewebsschmarotzer; hierher außer der Syphilisspirochäte, Tr. pallidum, auch der Erreger der Fram-

bösie, *Tr. pertenuis*). Bei zahlreichen anderen Spirochäten, die z. B. in der Mundhöhle des Menschen (*Sp. dentium* u. a.), auf entzündeten Schleimhäuten, in Geschwüren und ulzerierenden Geschwülsten (*Sp. refringens*, *pseudopallida*, *balanitidis*, *vincenti*, *schaudinni* u. a.), im Darm verschiedener Tiere (*Sp. culicis* u. a.) schmarotzen, ist noch kein Urteil über die Zugehörigkeit zu bestimmten Gattungen möglich.

B. Monographische Darstellung einzelner Protozoentypen.

Die Protozoen sind einzellige Organismen oder einfache Kolonien gleichartiger einzelliger Organismen. Der typische Charakter der Einzelligkeit erscheint zwar häufig dadurch gestört, daß anstatt eines Kernes deren mehrere vorhanden sind, indem der ursprünglich einfache Kern durch wiederholte Teilungen in mehrere oder viele zerfällt. Aber diese Teilungen stehen entweder mit der Fortpflanzung in irgendeinem Zusammenhange, indem sie dieselbe einleiten, oder es bleibt doch der ganze übrige Teil der Zelle durch die Vermehrung der Kerne völlig unberührt.

Trotz der Einzelligkeit der Protisten zeigt sich bei ihnen doch eine außerordentliche Formenmannigfaltigkeit und bei vielen tritt eine große Komplikation des Baues auf. Sind doch die Protisten selbständige Organismen und als solche nicht nur den einzelnen Metazoenzellen, sondern den ganzen Metazoen vergleichbar. Für die verschiedensten Lebensverrichtungen können daher besonders dazu geeignete Einrichtungen ausgebildet sein, wenn diese auch im Gegensatz zu den aus zahlreichen Zellen und meist sogar aus verschiedenartigen Zellgeweben aufgebauten Organen der Metazoen immer nur Teile einer und derselben Zelle sind. Wir können sie als Organellen bezeichnen, um dem angeführten Gegensatz zu den Organen der Metazoen auch im Namen Ausdruck zu verleihen.

Nirgends im Körper der Metazoen erlangt die einzelne Zelle einen so hohen Grad morphologischer Differenzierung, eine so komplizierte Struktur, wie dies beim einzelligen Körper der Protozoen der Fall ist, und auch die scheinbar am einfachsten gebauten Protozoen stehen, zu allen wesentlichen Lebensverrichtungen befähigt, auf einer so viel höheren Individualitätsstufe wie die Zellen der mehrzelligen Organismen, daß nur deshalb der Versuch gemacht ist, die Protisten überhaupt außerhalb der ganzen Zellenlehre zu stellen (DOBELL 1911).

Es dürfte zweckmäßig sein, das Gesagte zunächst durch eingehendere Schilderung einzelner Protozoentypen zu erläutern.

1. Amoeba.

Vorkommen. Viele Arten im Süßwasser, einige im Meere, manche an feuchten Orten in und auf der Erde und in Moosrasen (z. B. *A. terricola*), wieder andere parasitisch (z. B. *A. blattae* im Enddarm von *Periplaneta orientalis*, *A. diploidea* im Enddarm von Eidechsen, die verschiedenen Arten der Gattung *Entamoeba* in verschiedenen Teilen des Darmes — meist im Dickdarm, einzelne Arten aber auch in der Mundhöhle oder im Dünndarm — des Menschen und verschiedener Wirbeltiere).

Die Größe der Amöben ist bei verschiedenen Arten außerordentlich verschieden. Zu den kleineren Arten gehört die in der Mundhöhle des Menschen schmarotzende *Entamoeba buccalis* mit einem Durchmesser von 6–32 μ . Demgegenüber mißt *Amoeba vespertilio* durchschnittlich 200–300 μ , *A. proteus* erreicht einen Durchmesser von bis zu 500 μ , und *A. laureata*, die im allgemeinen 500–800 μ lang ist, kann sogar 1400 μ erreichen. Die größte aller Amöben aber ist die vielkernige *Pelomyxa palustris* mit einem Durchmesser von 3–15 mm!

Konsistenz. Der Körper der Amöben besteht nur aus einem sehr formveränderlichen Tröpfchen kernhaltigen Protoplasmas. Dieses Protoplasma ist je nach den Arten in verschiedenem Grade zähflüssig. Besonders zähflüssige Formen sind *A. verrucosa* und *A. terricola*, während z. B. *A. proteus* und die unter dem Namen *A. limax* zusammengefaßten Formen (Gattung *Vahlkampfia* CHATTON) zu den verhältnismäßig dünnflüssigen Arten gehören. Die Konsistenz des Protoplasmas kann aber auch bei ein und derselben Art je nach physiologischen oder entwicklungsgeschichtlichen Zuständen wechseln. Das spezifische Gewicht ist nur wenig größer wie das des Wassers.

Bau des Protoplasmas. Die wabig-alveoläre Grundstruktur des Protoplasmas ist nur bei den stärksten Vergrößerungen und an günstigen Objekten erkennbar. Sehr deutlich tritt dagegen, wenigstens während der Bewegung der Amöben, eine Sonderung des Plasmas in eine oberflächliche, dünne, nur an den Pseudopodien stärker entwickelte, hyaline (d. h. körnchenfreie) Schicht (*Ektoplasma*) und ein von dieser umschlossenes körniges und dünnflüssigeres *Endoplasma* hervor. Die Stärke der Ektoplasmaschicht ist ebenso wie ihre Konsistenz bei verschiedenen Arten verschieden. Bei manchen geschützt lebenden Arten (z. B. bei *Entamoeba coli*, einem harmlosen Dickdarmschmarotzer des Menschen) ist das Ektoplasma so wenig entwickelt, daß es in der Ruhe überhaupt nicht erkennbar ist und nur in den Pseudopodien hervortritt. Andere Formen besitzen dagegen eine verhältnismäßig dicke und daher stets sehr deutlich in die Augen fallende Ektoplasmaschicht, die bei den schädigenden Einflüssen seitens des umgebenden Mediums besonders ausgesetzten Erdamöben (*A. terricola* u. a.) sich durch ganz besondere Derbheit auszeichnet, so daß sie fast den Eindruck einer den Körper umschließenden Membran macht. Ekto- und Endoplasma sind jedoch nicht dauernd in unveränderlicher Weise gesondert; vielmehr kann Endoplasma an die Oberfläche der Amöbe vortreten und sich dort in Ektoplasma umwandeln und umgekehrt (vgl. nachstehend die Beschreibung der Bewegung der Amöben).

Daß es sich bei der verschiedenen Ausbildung des Ektoplasmas der Amöben nicht nur um zweckmäßige Anpassungserscheinungen handelt, daß vielmehr diese Ausbildung auch direkt durch das umgebende Medium beeinflusst wird, geht aus Versuchen ZÜLZERS (1910) mit *A. verrucosa* hervor. Diese Art besitzt unter allen Süßwasseramöben wohl das zähflüssigste Ektoplasma, das unter normalen Verhältnissen stets deutlich vom Endoplasma geschieden ist. Es gelingt aber, sie allmählich an das Leben im Meerwasser zu gewöhnen und hierbei geht unter starker Schrumpfung des ganzen Körpers die Scheidung von Ekto- und Endo-

plasma völlig verloren. Nur auf gefärbten Präparaten ließ sich dann noch eine das ganze Tier umgebende äußerst feine Membran nachweisen, von der es zweifelhaft bleibt, ob sie „als Rest des Ektoplasmas oder ein Produkt desselben aufzufassen ist“.

Die größere Dichte und Widerstandsfähigkeit des Ektoplasmas geht am klarsten aus folgendem hervor. In Schnitten durch *A. verrucosa* konnte RHUMBLER durch Behandlung mit Kalilauge das ganze Endoplasma zur Lösung bringen, während Ektoplasma und Kern noch ungelöst blieben, und von *A. vespertilio* beobachtete DOFLEIN (1907) abgestorbene Exemplare, die von Bakterien und kleinen Flagellaten derart ausgefressen waren, daß nur das Ektoplasma als verschrumpelter Sack und der Kern übrig geblieben waren.

Pseudopodien. Während des tätigen Lebens entsendet der Körper der Amöben nach außen „Pseudopodien“ in Form von meist nicht sehr langen, mehr oder weniger breiten, lappigen bis fingerförmigen, seltener fast fadenförmigen Fortsätzen, die ausschließlich aus Ektoplasma bestehen können, während sich andererseits sehr häufig an ihrer Bildung neben dem stets sehr stark hervortretenden Ektoplasma auch noch das Endoplasma beteiligt. Sie sind unverästelt oder zeigen doch nur geringe Neigung zur Verästelung und verschmelzen an ihren frei vorragenden Enden niemals miteinander.

Vielfach ist Zahl und Form der Pseudopodien zur Charakterisierung verschiedener Arten benutzt worden. So haben *A. verrucosa* (Fig. 76)

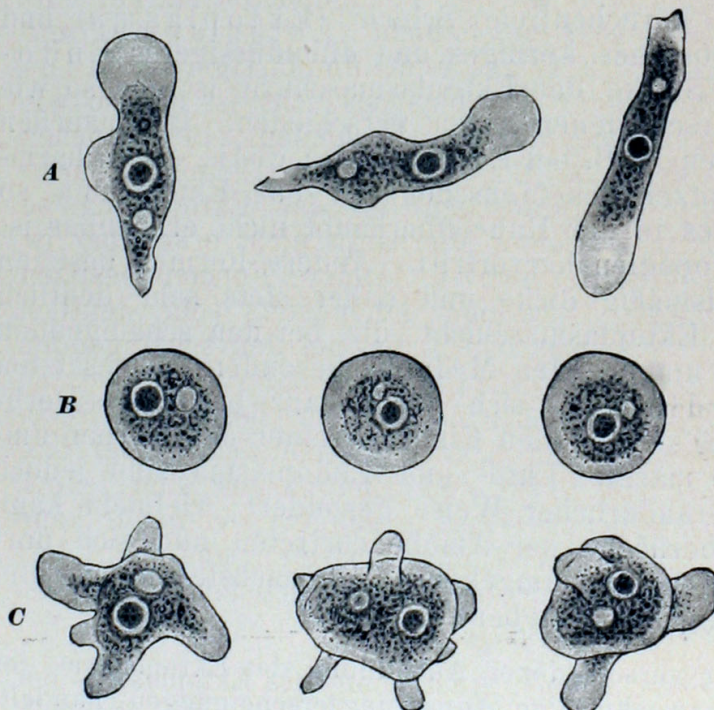


Fig. 68. *Amoeba* (**Vahlkampfia**) *limax* bei verschiedenen Temperaturen. **A** Gewöhnliche Form bei 25° C. Die Amöben haben langgestreckte Keulenform und zeigen lebhaftes Proto-plasmaströmung bei rascher, fließender Fortbewegung. **B** Bei über 35° C. Die Amöben haben Kugelform angenommen und verharren in Wärmestarre (dieselbe Erscheinung zeigt sich auch bei 0° und darunter). **C** Bei 2° C. Die Amöben zeigen einen klumpigen Körper, aus dem zahlreiche kleine Pseudopodien hervorragen. Die Bewegung ist nur bei sehr lang andauernder Beobachtung bemerkbar und wird erst bei steigender Temperatur lebhafter. Nach VERWORN 1897.

und *A. terricola* (Fig. 70) zahlreiche kurze höcker- oder warzenförmige Pseudopodien, die den Körper fast runzelig erscheinen lassen. *Entamoeba tetragena* (die Dysenterieamöbe des Menschen) und *A. blattae* besitzen nur sehr wenige (meist 1—2) breitlappige Pseudopodien, und bei der gewöhnlichen Form der als *A. limax* zusammengefaßten Arten (Fig. 68 und 94) wird ebenfalls nur ein einziges Pseudo-

podium in der gerade eingehaltenen Bewegungsrichtung gebildet, von dem aus sich der Körper nach hinten birn- oder keulenförmig verschmälert. *A. polyppodia* (Fig. 90) und *A. proteus* (Fig. 23) haben fingerförmige, am Ende abgerundete Pseudopodien, die sich bei *A. proteus* in geringem Grade verästeln können; *A. diffluens* hat kurz

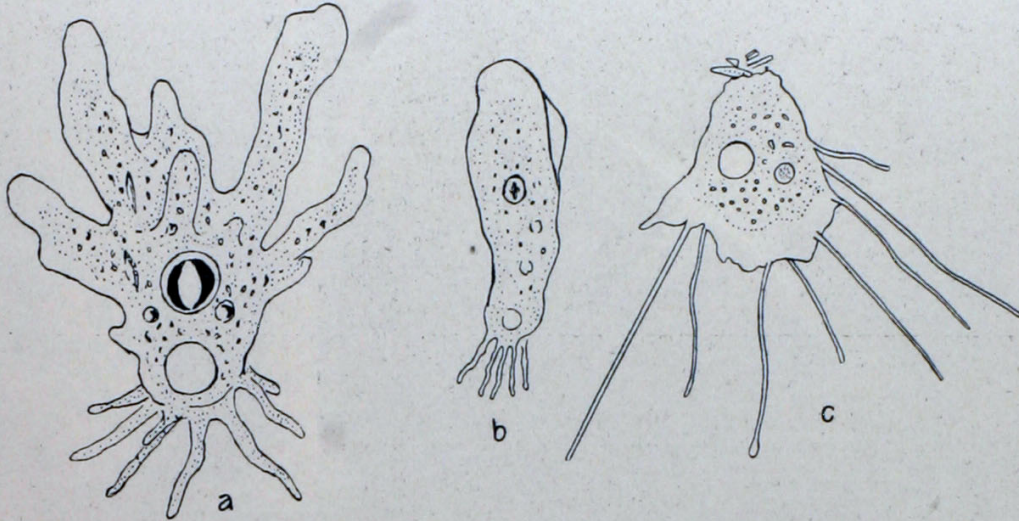


Fig. 69. Amöben mit „Quastenspseudopodien“ am Hinterende. *a* *A. fasciculata* PEN. *b* *A. clavarioides* PEN. *c* *A. ambulacralis* PEN. Nach PENARD 1902.

fingerförmige, am Ende zugespitzte, *A. ambulacralis* (Fig. 69 *c*) dagegen langgestreckt fadenförmige Pseudopodien, die in ihrer dauernden lebhaften Bewegung an die Ambulacralfüßchen eines kriechenden Seeigels erinnern; allseitig radiär ausgestreckte, fadenförmige Pseudopodien haben sogar Veranlassung gegeben zur Bildung einer besonderen Gattung für das frei im Wasser schwebende *Dactylosphaerium radiosum*, finden sich aber in im wesentlichen gleicher Weise bei den verschiedensten Amöbenarten, sobald dieselben, von der Unterlage abgelöst, „Schwebform“ annehmen (vgl. Fig. 71).

Besonders differenzierte Pseudopodien, die eine förmliche Quaste bilden können, finden sich bei manchen Amöben am Hinterende (Fig. 69). Sie dienen vielleicht ähnlich der Schleppgeißel bei Flagellaten als eine Art Steuerapparat. Auch die erwähnten langen Pseudopodien von *A. ambulacralis* scheinen derartige, nur besonders stark entwickelte Quastenspseudopodien zu sein. Bei den zähflüssigen Arten (wie *A. terricola*) ist, wie im Anschluß hieran erwähnt sei, das Hinterende häufig zu einem runzeligen Schopfe abgesetzt (Fig. 70), der durch das faltige Zusammensinken des zähen Ektoplasmas bei Vorströmen des Endoplasmas entsteht.

Die Ausbildung der Pseudopodien ist jedoch bei ein und derselben Amöbe in hohem Grade abhängig von äußeren Einflüssen, deren Wechsel weitgehende Zustandsänderungen der ganzen Amöbe bedingt (vgl. Fig. 68 und 71, deren Erklärung nichts mehr hinzugefügt zu werden braucht).

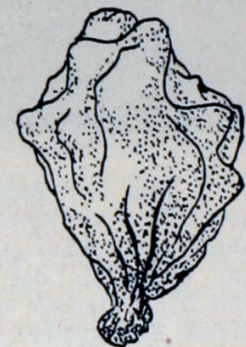


Fig. 70. *Amoeba terricola* GREEFF mit schopfartigem Hinterende. Nach GROSSE-ALLERMANN 1909.

Der Kern der Amöben liegt im Endoplasma und ist fast stets in der Einzahl vorhanden. *A. binucleata* und *A. diploidea* be-

sitzen jedoch zwei, *A. blattae* 2–20, *A. nobilis* 4–49 und *Pelomyxa palustris* sehr zahlreiche einander gleichwertige, *Paramoeba eilhardi* zwei verschiedenwertige Kerne. In der Regel

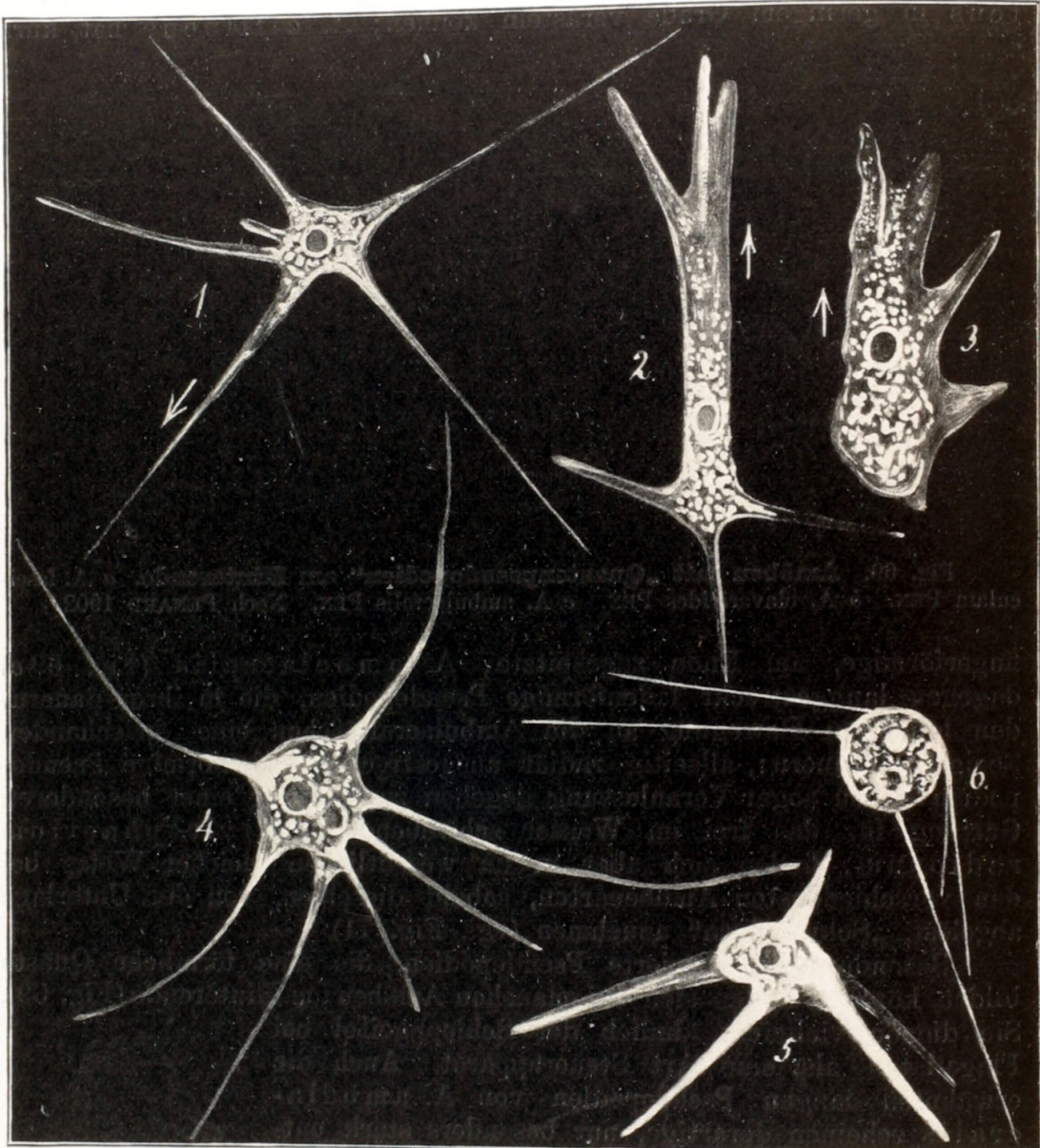


Fig. 71. *Amoeba spec.* 1 Gewöhnliche, frei im Wasser flottierende Schwebform (sog. *Dactylosphaerium radiosum*). 2 Dasselbe Individuum hat mit dem in Fig. 1 durch einen Pfeil gekennzeichneten Pseudopod den Objektträger berührt und beginnt nun auf diesem in der Pfeilrichtung hinzukriechen, indem das Endoplasma des Körpers in das der Unterlage sich anlegende Pseudopod hineinströmt. 3 Dasselbe Individuum wieder kurze Zeit später; der Uebergang von der Schweb- zur Kriechform ist vollendet. 4–6 Andere Exemplare derselben Art in verschiedenen, etwas von dem gewöhnlichen Bild abweichenden Schwebformen: 4 die Pseudopodien führen hakenförmige Einkrümmungen aus, 5 Schwebform mit verhältnismäßig kurzen Pseudopodien (erst kürzlich von der Unterlage abgelöst?), 6 Schwebform mit pendelartigen Bewegungen der Pseudopodien durch Einknickungen an deren Basis. Nach HEIDENHAIN 1911.

ist der Kern der Amöben bläschenförmig und enthält das Chromatin vollständig oder doch zum großen Teile in einem großen runden kompakten Innenkörper, dem Karyosom, vereinigt. Etwas ge-

nauere Angaben hierüber sollen unten in einem besonderen Abschnitt über den Kern der Protozoen gemacht werden.

Kontraktile oder pulsierende Vakuole. Bei allen Süßwasseramöben findet sich im Endoplasma, dicht unter dem Ektoplasma, eine pulsierende Vakuole in Form eines Tropfens wässriger Flüssigkeit (Fig. 76, 78), die periodisch entleert wird und wahrscheinlich Exkrete gelöst enthält. Nach seiner Entleerung sammelt sich der Flüssigkeitstropfen allmählich wieder an, und zwar bei ruhenden Amöben lange Zeit hindurch immer wieder an derselben Stelle. Bei in Bewegung befindlichen Amöben aber ist er infolge des Strömens des Plasmas nicht an einen bestimmten Ort gebunden, sondern wird, wenigstens so lange bis er eine gewisse Größe erreicht, mit dem Plasmastrome fortbewegt.

Bei *A. proteus* entsteht die Vakuole aus einzelnen kleinen Flüssigkeitströpfchen, die meist hinter dem Kern liegen, und wächst allmählich durch deren Zusammenfließen. Hat sie dann eine gewisse, aber keineswegs genau bestimmte Größe erreicht, so entleert sie plötzlich ihren Inhalt nach außen und infolge der dadurch eintretenden Volumverminderung stürzt oder sinkt das Plasma von allen Seiten an ihrer Stelle zusammen. Diese periodischen Entleerungen erfolgen bei ungeschädigten Tieren in der Regel in Intervallen von 5—8 Minuten (nach GRUBER 1912).

Bei *A. verrucosa* bildet das Plasma um die pulsierende Vakuole jeweilen ein zähflüssiges, ektoplasmaähnliches Häutchen, das nach jeder Entleerung resorbiert und an der neu auftretenden Vakuole neu gebildet wird. Infolge der großen Zähflüssigkeit des Plasmas dieser Art erfolgt die Pulsation der Vakuole bei ihr langsamer wie bei *A. proteus* und anderen Formen mit verhältnismäßig dünnflüssigem Plasma.

Bei *A. terricola* sind die kontraktilen Vakuolen gewöhnlich in der Mehrzahl vorhanden, doch kann gelegentlich durch deren Zusammenfließen auch eine einzige außerordentlich große Vakuole entstehen. Bei *Pelomyxa palustris* finden sich statt einer großen sehr zahlreiche außerordentlich kleine Vakuolen.

Bei *A. geminata* sah RHUMBLER (1898) „in der Nähe des Kerns größere Vakuolen mit einem plötzlichen Ruck verschwinden, bei dem sich helle Streifen in dem umgebenden Plasma bemerkbar machten; die Vakuolenflüssigkeit schien in das umgebende Protoplasma hineinexplodiert zu sein und bei dieser Explosion schienen die Einlagerungen des Endoplasmas zur Seite gedrängt zu sein.“ Da auch bei anderen Amöben noch nie eine Oeffnung wirklich gesehen wurde, durch die die Entleerung der Vakuole nach außen erfolgt, so nahm PENARD (1902) an, daß diese Entleerung überhaupt immer ins umgebende Plasma erfolgt und daß die Vakuole kein Exkretions-, sondern ein kiemenähnlich die Aufnahme von Sauerstoff vermittelnder Atmungsapparat sei. Später (1904) konnte er jedoch bei *A. terricola* mit Hilfe fein verteilter chinesischer Tusche doch eine Entleerung nach außen sicherstellen, die seiner Annahme zufolge bei der Unsichtbarkeit eines Ausführungskanales vielleicht durch eine größere Zahl von unsichtbaren, über eine größere Zone der Pellicula verteilten Poren erfolgt. Nach METCALF (1910) wölbt die Vakuole am Ende der Diastole durch ihren Druck eine äußerst dünne, aber offenbar sehr widerstandsfähige Hautschicht der Amöbe nach außen vor. Die Art des dann folgenden Zusammenfallens der Vakuole weist auf das Auftreten einer direkt nicht sichtbaren feinen Oeffnung hin (ver-

mutlich durch Bersten der Hautschicht; vgl. auch unten die Besprechung von *Paramaecium*).

Die **Ortsbewegungen** der Amöben sind in neuerer Zeit vielfach studiert worden, besonders eingehend von RHUMBLER (1898 und 1905) und JENNINGS (1904 und 1910). Sie treten in drei verschiedenen Hauptformen auf, als fließende Bewegung mit Fontänenströmung, als rollende Bewegung ohne Rückströme und als Bewegung mit Hilfe eruptiver Pseudopodien.

Die fließende Bewegung mit Fontänenströmung findet sich vor allem bei Amöben mit relativ dünnflüssigem Plasma wie *A. (Vahlkampfia) limax*, *Amoeba blattae*, *Pelomyxa palustris*. Das Ektoplasma strömt in der Bewegungsrichtung in Form eines breitlappigen Pseudopods („Lobopodium“) vor, dann folgt heftig nachströmend das Endoplasma nach und durch dieses Vorströmen der Körpermasse an einer oder auch mehreren benachbarten Stellen wird das Vorrücken des ganzen Tieres bedingt. Hierbei besteht keine dauernde Grenze zwischen Ekto- und Endoplasma, vielmehr wandelt sich das in der Achse des Körpers rasch vorströmende körnige Endoplasma vorne in Ektoplasma um (Endoplasma - Ektoplasma-Prozeß RHUMBLERS) und am Vorderende des Pseudopods angelangt, biegt die Strömung fontänenartig nach den beiden Seiten ab und geht hier in schwächere rückläufige Randströme über, wobei dann auch wieder umgekehrt Ektoplasma sich in Endoplasma zurückverwandelt.

Die rückläufigen Randströme sind in der Regel nur schwer zu erkennen und ihr Vorkommen ist deshalb mehrfach bestritten, von RHUMBLER (1898, 1905) aber einwandfrei nachgewiesen. Hinsichtlich der physiologischen Erklärung dieser Bewegungsart durch Veränderung der Oberflächenspannung muß auf dessen Originalarbeiten verwiesen werden.

Wohl stets ruhen die Amöben bei ihrer Fortbewegung nur mit einem Teil ihrer Unterfläche auf der Unterlage. Berühren sie die letztere nur mit wenigen kurzen Pseudopodien, so kommt eine Art von schreitender Bewegung zustande, die DELLINGER (1906) mit Hilfe einer besonderen Vorrichtung zur seitlichen Beobachtung kriechender Amöben studiert hat. Hierbei wird das Vorderende der Amöbe frei ins Wasser vorgestreckt (Fig. 72, A) und dann auf dem Untergrunde festgeheftet (Fig. 72, B). Hierauf wird das Hinterende unter Ablösung von dem Untergrunde nachgezogen und dadurch der ganze Körper soweit nach vorn verschoben, daß er sich aufs neue weiter vorn mit Hilfe eines neuen vorgestreckten Pseudopods anheften kann. Es wird dann also bei der in Fig. 72 dargestellten Amöbe das bei *d* oder *e* hervortretende Pseudopod an Stelle von *c* zum Vorder- und *b* an Stelle von *a* zum Hinterende. Hierbei handelt es sich aber nicht etwa um eine allmähliche Rotation des ganzen Amöbenkörpers in einer vertikalen Ebene, da dem dorsalen Ektoplasma außen anklebende Fremdkörper nach DELLINGERS Beobachtungen im Gegensatz zu der nachstehend besprochenen *A. verrucosa* nicht über den Vorderrand der Amöbe hinweg auf die Ventralfläche gelangten, sondern auf der Dorsalfläche liegen blieben. Das zur Bildung der vorgestreckten Pseudopodien benötigte Plasma kann demnach nur aus dem Körperinnern stammendes, neu hervorbrechendes Endoplasma darstellen, dessen Umwandlung in Ektoplasma an anderer Stelle eine Rückverwandlung von Ektoplasma in Endoplasma

gegenüberstehen muß. Die geschilderte schreitende Bewegung kann hiernach nur als eine durch die Bildung zahlreicher Pseudopodien bedingte Komplikation der einfachen fließenden Bewegung aufgefaßt werden.

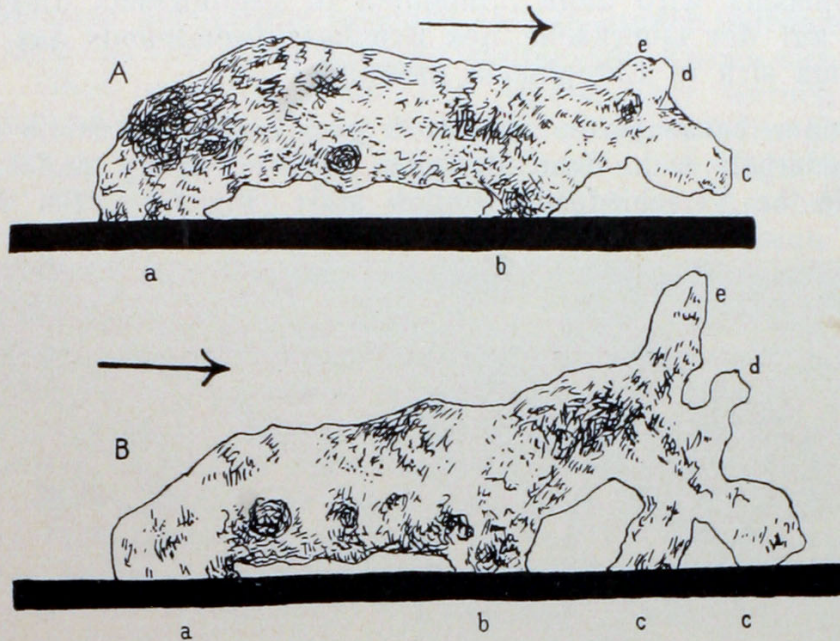


Fig. 72. **Schreitende Bewegung von *Amoeba proteus***, in zwei aufeinanderfolgenden Stadien der Fortbewegung von der Seite gesehen. Die Pfeile geben die Richtung der Fortbewegung an, während die kleinen Buchstaben die einander entsprechenden Teile der beiden Figuren bezeichnen. *B* zeigt die Amöbe einige Sekunden später als *A*. Nach JENNINGS (1910) unter Zugrundelegung von Mikrophotographien DELLINGERS (1906).

Die Bewegung mit Hilfe eruptiver (Bruchsack-)Pseudopodien schließt sich insofern an die fließende Bewegung an, als auch bei ihr ein „Endoplasma-Ektoplasmaprozeß“ deutlich hervortritt. Sie hat eine verhältnismäßig größere Festigkeit des Ektoplasmas oder doch wenigstens von dessen oberflächlicher Grenzschicht (Haptogenmembran)

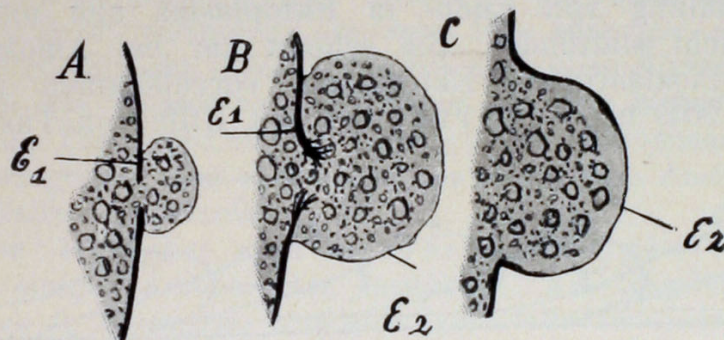


Fig. 73. **Bruchsackpseudopod von *Amoeba blattae* BÜTSCHLI**. *A* Das hervorbrechende Pseudopod lagert sich über das frühere Ektoplasma E_1 . *B* Das Pseudopod hat sich noch weiter vergrößert, E_1 beginnt sich aufzulösen. *C* E_1 ist vollständig aufgelöst, das Bruchsackpseudopod umkleidet sich mit neuem Ektoplasma E_2 . Nach RHUMBLER 1898.

zur Voraussetzung, ist unter anderem von RHUMBLER (1898) bei *A. blattae* beobachtet und nach HARTMANN (1911) für die Dysenterieamöbe *Entamoeba tetragena* charakteristisch. An einer kleinen Stelle reißt plötzlich die Oberflächenhaut, und das darunter liegende Ektoplasma bricht mit mehr oder weniger Endoplasma bruchsackartig vor und

breitet sich über die Haptogenmembran der ursprünglichen Oberfläche aus (Fig. 73). Die Einlagerungen in dem vorgestürzten Endoplasma sind anfänglich in wild wirbelnder Bewegung. Das von ihm überflossene alte Ektoplasma wird dann allmählich in Endoplasma umgewandelt, während auf der Oberfläche des Bruchsackpseudopods das bisherige Endoplasma sich in Ektoplasma umwandelt.

An einer benachbarten oder auch ganz entfernten Stelle der Oberfläche wiederholt sich dann derselbe Prozeß; häufig findet er auch gleichzeitig an verschiedenen Stellen statt (Fig. 74). Bei *A. blattae*

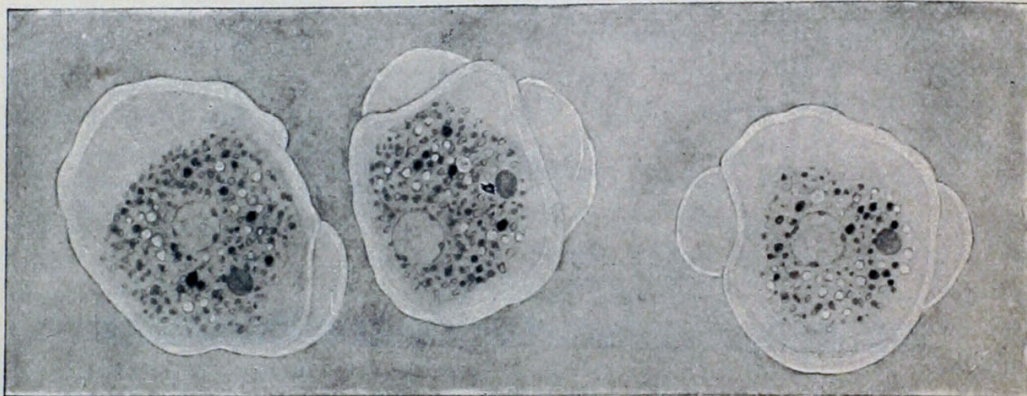


Fig. 74. *Entamoeba tetragena* VIERECK aus dem Darne des Menschen. Individuum in drei Stadien der Bewegung, mit eruptiven Pseudopodien. An den Stellen, wo diese bruchsackartig vorgequollen sind, scheint das frühere Oberflächenplasma noch durch (vgl. die mehr schematische Fig. 73 B).

spielt neben den Bruchsackpseudopodien die fließende Bewegung noch eine große Rolle, bei *Entamoeba tetragena* gehört dagegen die letztere zu den Ausnahmen und ist Bewegung mit Bruchsackpseudopodien durchaus vorherrschend.

Die rollende Bewegung ist insofern anderer Art, als bei ihr eine Umwandlung von Endo- in Ektoplasma und umgekehrt anscheinend nicht stattfindet. Sie scheint nur bei Amöben mit sehr derbem, pelliculaartigem Ektoplasma vorzukommen und ist von JENNINGS (1904) bei *A. verrucosa* mit Hilfe von Tuschekörnchen,

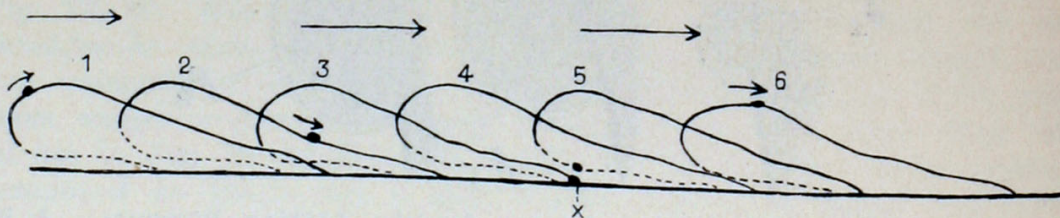


Fig. 75. Schema der rollenden Bewegung von *Amoeba verrucosa* EHRBG. Seitenansicht. An der Oberfläche der Amöbe haftet ein Körnchen, das sich in 1 am Hinterende der Amöbe befindet, bei dem Vorwärtskriechen nach vorn rückt (2) und in 3 das Vorderende erreicht (bei x). Dort bleibt es während der Weiterbewegung der Amöbe liegen und findet sich, wenn die Amöbe die Stellung 4 erreicht, in der Mitte von deren Unterfläche. In der Stellung 5 liegt es immer noch am gleichen Platze und ist nur ein wenig gehoben, da das Hinterende der Amöbe der Unterlage nicht mehr unmittelbar aufliegt. Bei der Weiterbewegung gelangt es dann wieder auf die Oberseite (6), und der Kreislauf beginnt von neuem. Die unterbrochenen Linien geben den in Ruhe befindlichen Teil der Oberfläche der Amöbe wieder, die großen Pfeile zeigen die Bewegungsrichtung der Amöbe, die kleinen diejenige des anhaftenden Körnchens. Nach JENNINGS 1904.

die der Oberfläche der Amöben anhafteten, sehr eingehend studiert worden. Vor allem ist sie durch das Fehlen rückläufiger Randströme ausgezeichnet. Die von der Unterlage abgewandte Oberseite sowie das Endoplasma der Amöbe befinden sich in vorwärtsströmender Bewegung, während die der Unterlage aufliegende Fläche sich in Ruhe befindet. Ober- und Unterseite der Amöbe aber werden dauernd miteinander vertauscht, indem vorne das vorgeströmte Ektoplasma der bisherigen Oberseite sich der Unterlage anschmiegt, hinten dagegen ein entsprechender Teil der Oberfläche der Amöbe sich von der Unterlage abhebt (vgl. Fig. 75). Diese Bewegung kann also dem Vorwärtsrollen eines flüssigkeitserfüllten deformierbaren Sackes verglichen werden.

Die Verlängerung einzelner Pseudopodien erfolgt bei den Formen mit rollender Bewegung, soweit diese Pseudopodien der Unterlage aufliegen, in ganz entsprechender Weise wie die rollende Bewegung der ganzen Amöbe, indem das Ektoplasma der freien Oberfläche vorströmt und sich an der Spitze des Pseudopods umschlägt und der Unterlage anschmiegt. Die Verlängerung eines frei in das Wasser vorragenden Pseudopods erfolgt dagegen lediglich durch Zutritt neuen Plasmas an seiner Basis (ein einem solchen Pseudopod oberflächlich anhaftendes Tuschekörnchen oder dergleichen bleibt während der Verlängerung des Pseudopods stets in der gleichen Entfernung von dessen freiem Ende) und entsprechend erfolgt dann auch die Verkürzung wieder von der Basis aus.

Hinsichtlich weiterer Einzelheiten dieser Bewegungsweise muß auf die sehr ausführliche Arbeit von JENNINGS verwiesen werden, hinsichtlich eines Versuches, die rollende Bewegung physikalisch durch verschiedene Stärke des Gelatinierungsdrucks an verschiedenen Stellen der Oberfläche der Amöbe zu erklären, auf RHUMBLER (1905).

Von der vorstehend besprochenen rollenden Bewegung wohl zu unterscheiden ist die gelegentlich bei zähflüssigen Amöben zu beobachtende passiv rollende Bewegung. Diese ist nur dann möglich, wenn die Amöbe (z. B. *A. verrucosa*) nur sehr lose oder gar nicht auf der Unterlage haftet. Streckt dieselbe hierbei nach allen Richtungen Pseudopodien frei in das Wasser vor, so können ein oder mehrere nach einer Seite gewandte Pseudopodien das Uebergewicht bekommen, worauf infolge der Verlagerung des Schwerpunktes die ganze Amöbe ein wenig nach dieser Seite herüberrollt.

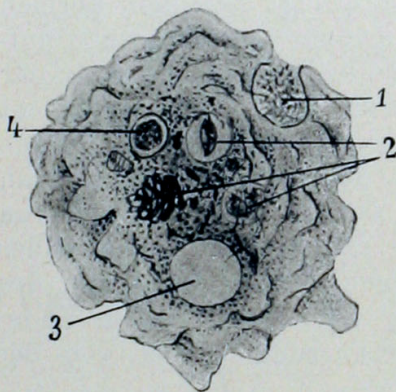
RHUMBLER (1898) hat auch die Geschwindigkeit der Ortsbewegung einiger Amöbenarten bestimmt. Am trägsten zeigte sich die zähflüssige *A. verrucosa*, die günstigstenfalls in einer Sekunde um etwa 0,5 μ vorrückte, während in der gleichen Zeit *A. limax* und *A. striata* um 1 μ , *A. geminata* wechselnd um 1,5–3 μ vorrückten.

Ob mit der Bewegung der Amöben Volumveränderungen verbunden sind (wie bei jeder auf Kontraktion beruhenden Bewegung), ist nicht bekannt.

Die **Nahrungsaufnahme** der Amöben ist eng mit ihren Bewegungen verknüpft, hängt wie diese letzteren von Anomogenitäten der Oberflächenspannung ab und tritt uns in 4 verschiedenen Formen entgegen (vgl. namentlich RHUMBLER 1898 und 1910):

1. Bei der Nahrungsaufnahme durch Umfließung (Circumfluenz) bleibt der aufzunehmende Fremdkörper nach seiner

Berührung mit der Oberfläche der Amöbe zunächst noch ruhig liegen. Das Plasma der Amöbe fließt aber infolge einer durch die Adhäsion zum Nahrungskörper verursachten Herabminderung seiner Oberflächenspannung an der Kontaktstelle um den Nahrungskörper in enger Anschmiegung herum, indem es sich auf seiner Oberfläche ausbreitet; die hierbei eintretende Gestaltsveränderung der Amöbe verläuft in direkter Abhängigkeit von der Oberflächenform des Fremdkörpers, ohne daß die Amöbe selbst den Verlauf der die Umfließung vermittelnden Strömungsrichtungen zu determinieren braucht. Die Geschwindigkeit des Vorgangs hängt naturgemäß von der mehr oder weniger großen Zähflüssigkeit der Amöbe ab. Bei der sehr zähflüssigen *A. verrucosa* (Fig. 76) erfolgt er so langsam, daß z. B.



bei einer Beobachtung ein Exemplar zur Einschließung eines bloß 25 μ im Durchmesser haltenden Zoogloeahäufchens (Zoogloea sind durch Gallerte zusammengehaltene Häufchen von Bakterien) 5 Minuten bedurfte.

Fig. 76. *Amoeba verrucosa* EHRBG., 80 bis 100 μ im Durchmesser. 1 Zoogloea (Bakterienhaufen), welche die Amöbe im Begriff ist, als Nahrung aufzunehmen, 2 aufgenommene Nahrung, in Nahrungsvakuolen eingeschlossen, 3 pulsierende (kontraktile) Vakuole, 4 Kern.

2. Die Nahrungsaufnahme durch Einfangen (Circumvallation) ist insofern besonders merkwürdig, als sie ganz den Eindruck einer berechnenden Handlungsweise der Amöbe macht. Das Amöbenplasma schickt nämlich an beiden Seiten der Beute vorbei Pseudopodien, die sich jenseits derselben miteinander vereinigen, nach dieser Verschmelzung einen vollständigen Wall um die Beute herum bilden, sich bald darauf auch auf der Ober- und Unterfläche der

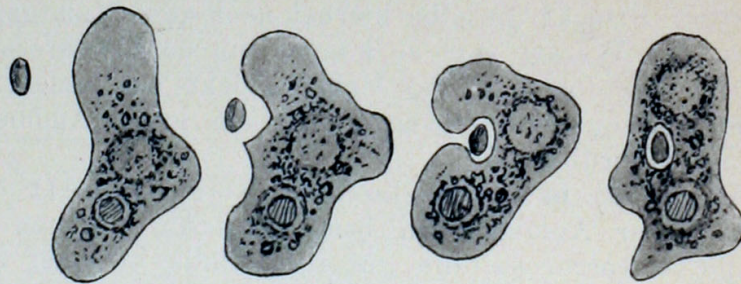


Fig. 77. *Amoeba (Vahlkampfia) limax*, eine Algenzelle fressend. Vier aufeinander folgende Stadien der Nahrungsaufnahme. Der helle Fleck oberhalb des Kernes bzw. der Nahrungsvakuole ist die kontraktile Vakuole. Nach VERWORN 1897.

Amöbe zusammenschließen und hiermit die Beute völlig einkerkern, ohne daß das Plasma der Amöbe selbst bis dahin mit dieser irgendwo in direkten Kontakt gekommen zu sein braucht (Fig. 77). Bei *A. proteus* wird dieses Einfangen meist dadurch eingeleitet, daß das Beuteobjekt zunächst von einem glockenartig sich vorwölbenden Fortsatz der Amöbe überdacht wird, der sich dann ohne Berührung der Beute zur Höhle schließt (GRUBER 1912).

Diese Art der Nahrungsaufnahme ermöglicht z. B. der *A. proteus* die Aufnahme von Euglenencysten, die vor ihr bei vorzeitiger direkter Berührung davonrollen (vgl. JENNINGS 1910), sowie so lebhaft beweglicher Infusorien wie *Paramecium* und *Coleps*, die, während sie vorübergehend ruhen, überrascht werden (vgl. GRUBER 1912). Sie erklärt sich nach RHUMBLER (1910) „daraus, daß durch Reizwirkung von der Beute her eine lokale Aufquellung mit nachfolgender Verflüssigung der festen Oberflächenschicht (eines einfachen Niederschlagshäutchens oder einer derberen Pellicula) der Amöbe an den der Beute zunächst gelegenen Stellen der Oberfläche stattfindet, welche ein pseudopodiales Vordringen der verquollenen bzw. verflüssigten und eventuell auch der unter ihr liegenden flüssigen Plasmaschichten nach der Beute hin zur Folge hat. Bei dem Vordringen gegen die Beute hin steigert sich aber infolge der mit der Annäherung zunehmenden Verflüssigung die Oberflächenspannung der der Beute am meisten genäherten Oberflächenteile und infolge hiervon muß die vorfließende Masse sich im Kreisbogen in einiger Entfernung von der Beute um letztere herumschlagen“.

3. Bei der Nahrungsaufnahme durch Import wird der Fremdkörper in die Amöbe hineingezogen, nachdem er mit deren

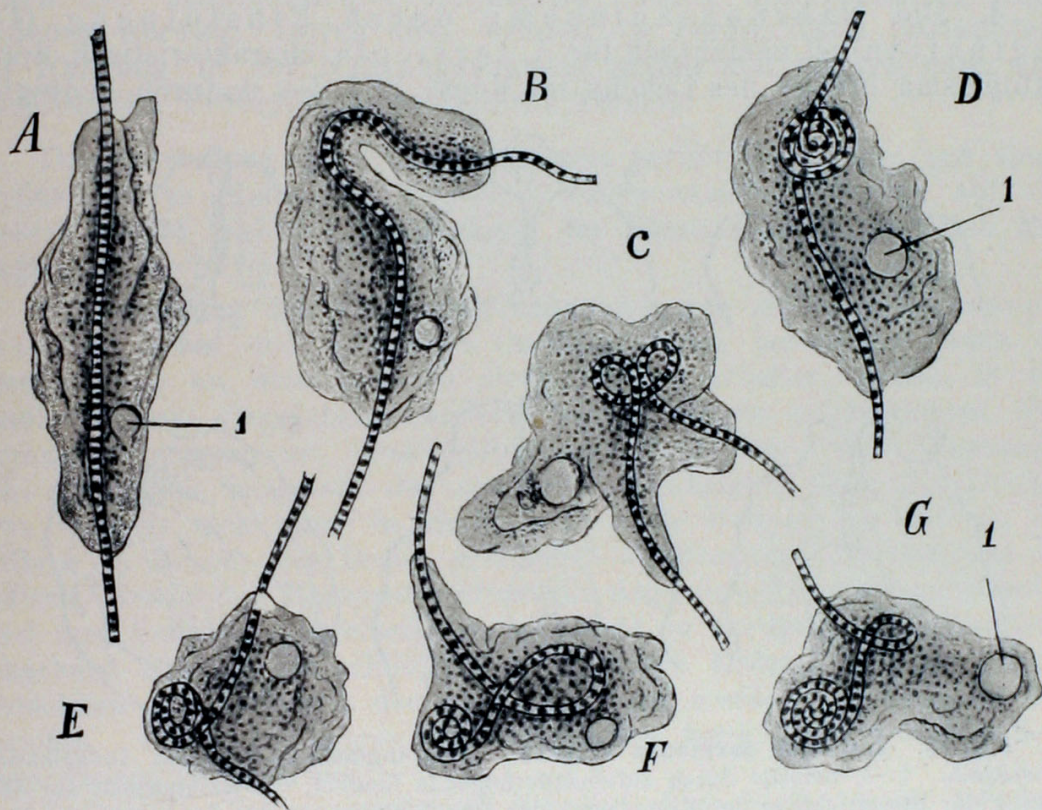


Fig. 78. *Amöbe verrucosa* EHRBG. mit dem Import und der Aufrollung eines Oscillarienfadens beschäftigt. *A—C* Ein Exemplar in viertelstündigen Pausen gezeichnet. *D* Dasselbe nach mehreren Stunden. *E—G* Ein anderes Exemplar in größeren Zeitintervallen gezeichnet: *E* die Einfuhr wird in kugeligem Zustande besorgt, *F* ein Pseudopod dringt auf dem Algenfaden vor, *G* das Pseudopod ist wieder zurückgezogen. 1 Pulsierende Vakuole. Nach RHUMBLER 1898, von LANG ganz unwesentlich verändert.

Oberfläche in Berührung gekommen ist, ohne daß die Amöbe dabei selbst irgendwelche nennenswerte Bewegungen auszuführen braucht, aber auch ohne daß ihr solche an sich beliebige Bewegungen verwehrt wären. Auf diese Weise vermögen Amöben (z. B. *A. verru-*

cosa) Algenfäden, die bedeutend länger sind wie ihr eigener Körper, einzuziehen und dabei aufzuknäueln. RHUMBLER (1898) hat einen Algenfaden von 540 μ von einer nur 90 μ großen Amöbe in stundenlanger Arbeit zu einem dichten Knäuel aufrollen sehen. Die Amöbe kann dabei in folgender Weise vorgehen (Fig. 78): Sie umfließt einen Algenfaden (z. B. von *Oscillaria*) in seiner Mitte und nun beginnt an beiden Stellen, wo der *Oscillaria*-faden frei aus der Amöbe vorragt, je ein Pseudopod vorzutreten, das den Algenfaden weiter umfließt. Dann krümmt sich das eine oder das andere Pseudopod zurück und verschmilzt schließlich mit der Hauptmasse des Körpers, wodurch der *Oscillaria*-faden im Inneren der Amöbe geknickt wird. Oder die beiden Pseudopodien kontrahieren sich einfach, wodurch der *Oscillaria*-faden von zwei entgegengesetzten Seiten in das Innere der Amöbe hineingezogen wird und sich hier in eine Windung legen muß. Dann fließen wiederum Pseudopodien um den frei vorragenden Algenfaden herum vor, biegen oder ziehen sich wiederum zurück, und so geht der Vorgang weiter. Bisweilen aber bewegt sich bei dem Nahrungsimport die Amöbenoberfläche überhaupt nicht: Der Faden dringt, wie aufgesogen, ohne besondere sichtbare Anstrengungen der Amöbe in deren Körper von zwei Enden aus ein.

4. Die Nahrungsaufnahme durch Einstülpung (Invagination) ist namentlich für *A. terricola* charakteristisch, deren Ektoplasma infolge des Lebens im Moose und des dadurch bedingten

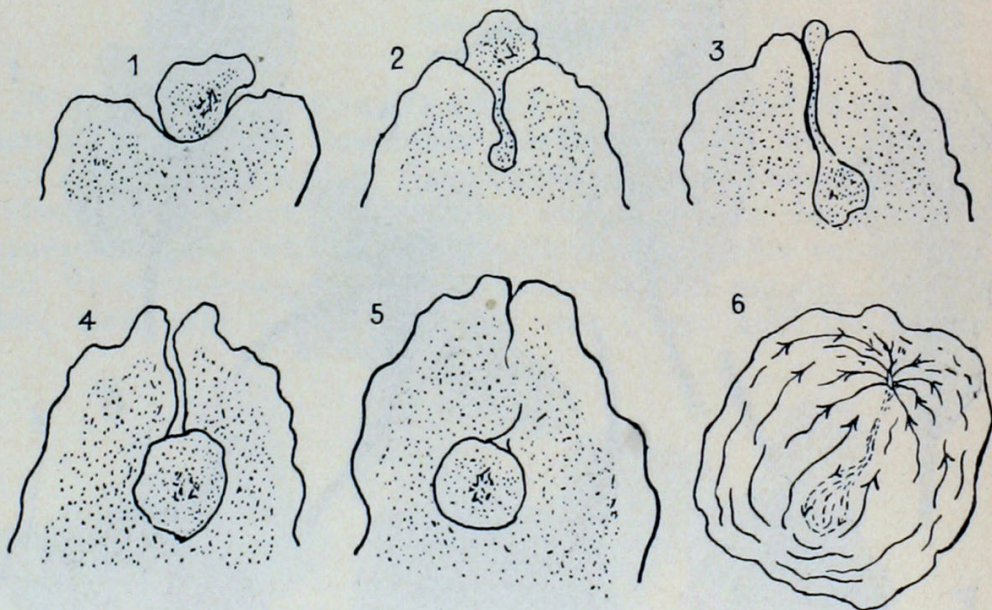


Fig. 79. *Amoeba terricola* GREEFF. Nahrungsaufnahme durch Invagination, schematisch. 1—5 Schnitte durch aufeinanderfolgende Stadien, 6 Gesamtansicht zur Darstellung der Stromrichtung im Ektoplasma der Oberfläche sowie der Invagination. Nach GROSSE-ALLERMANN 1909.

Kontaktes mit der Luft sehr stark verdichtet ist und sich daher in einem Zustande expansiver Quellungsspannung befindet. Berührung eines Fremdkörpers führt hier an der Kontaktstelle nicht gleich zu einer Verflüssigung der Pellicula, sondern zunächst nur zu einer Herabminderung ihrer elastischen Widerstandskraft, die zu einer Einstülpung führen muß (RHUMBLER 1910). Der Nahrungskörper, der von der deutlich häutigen und offenbar stark klebrigen Oberflächenschicht erfaßt wurde, wird daher dadurch in das Innere der Amöbe

hineingebracht, gewissermaßen eingeschlürft, daß sich die dem Fremdkörper anhaftende Strecke des Ektoplasmas schlauchartig in das Entoplasma hineinstülpt, um später nach Auflösung des eingestülpten Ektoplasmaschlauches den eingeführten Nahrungskörper dem Endoplasma zur weiteren Verarbeitung zu übergeben (Fig. 79).

Häufig sieht man die Nahrungsaufnahme der Amöbe noch im letzten Moment mißglücken (vgl. z. B. JENNINGS 1910). Es ist dies nach RHUMBLER (1910) die Folge davon, daß die Oberflächenspannung der Amöbe nicht nur von der jeweiligen Plasmakonstitution, sondern auch von der Konstitution des Außenmediums und derjenigen etwa berührter fester Gegenstände abhängt und daß dadurch auch das Handlungsbereich der Amöbe in hohem Grade von den Einflüssen der Umgebung abhängig wird.

Verdauung. Um die aufgenommenen Nahrungspartikelchen (mikroskopisch kleine Algen, Infusorien, Flagellaten, Rotatorien, Bakterien, Zoogloen, Protozoen- und Protophytencysten, Eier niederer Tiere usw.) bilden sich gewöhnlich im Endoplasma Nahrungsvakuolen, d. h. kugelige Wasseransammlungen, in welche von seiten des umgebenden Protoplasmas Säuren und Fermente abgeschieden werden. Durch diese werden die verdaulichen Bestandteile der Nahrung in der Nahrungsvakuole gelöst und können dann vom umgebenden Protoplasma assimiliert werden.

Die Entstehung der Nahrungsvakuole beruht wohl stets auf einem verflüssigenden Reiz, den die eben aufgenommene Nahrung auf das Plasma ausübt (vgl. die Besprechung der Nahrungsaufnahme durch Einfangen auf S. 54 f.).

Den Hergang der Verdauung kann man sehr schön bei *A. verrucosa* an einem und demselben Oscillarienfaden beobachten, wenn die Amöbe noch an dem Importe eines Fadens arbeitet, dessen in den Amöbenkörper eingeführtes anderes Ende bereits vollkommener Verdauung unterlegen ist. Das hellbläuliche Grün des freien Fadenendes geht allmählich innerhalb der Amöbe in Dunkelgrün über, das Dunkelgrün wandelt sich dann in Hellgelb um, das Hellgelb in Gelbrot, das Gelbrot in Braun, das Braun schließlich in Braunrot. Im Gebiete des Gelbrot, Braun und Braunrot verliert die Alge ihre Fadennatur (offenbar wird ihre Cellulose aufgelöst), sie zerbricht in unregelmäßig zusammengebackene Stücke, die schließlich in braunrote Krümel zerfallen. Diese bezeichnen die Endstufe der Verdauung und werden als Fäkalien ausgestoßen. Bei einem langen Oscillarienfaden kann die Verdauung 3—5 Tage dauern (RHUMBLER).

Daß in die Nahrungsvakuolen Säure abgeschieden wird, läßt sich durch Färbung der lebenden Amöbe mit sehr stark verdünntem Neutralrot nachweisen, das bei Gegenwart von Säure eine lebhaft rote Farbe annimmt. Bakterien, die die Amöbe verschlungen hat, werden nämlich im Innern der Nahrungsvakuole in dieser Weise lebhaft rot gefärbt, sobald sie unter dem Einfluß der verdauenden Tätigkeit der Amöbe abgestorben sind (MOUTON 1902).

Von verdauenden Fermenten ist bei Amöben speziell ein proteolytisches (eiweißverdauendes) Ferment nachgewiesen worden (durch MOUTON 1902). Dasselbe verflüssigt Gelatine sehr leicht, wirkt auf Fibrin nur, wenn es in physiologischer Kochsalzlösung gelöst ist,

dagegen nicht in Lösung in destilliertem Wasser, und ist auch nur von geringer Wirkung auf durch Hitze koaguliertes Hühnereiweiß. Andererseits erweist es sich noch wirksam bei Temperaturen, die für die Amöben schon sehr schädlich sind ($37-45^{\circ}\text{C}$), nach Erwärmung auf über 50°C nimmt seine Wirksamkeit jedoch ab, um durch Erwärmung auf 60°C völlig vernichtet zu werden.

Eine fettverdauende Lipase konnte MOUTON bei den von ihm untersuchten Amöben nicht nachweisen. Eine stärkeverdauende Amylase hat er zwar gefunden, doch läßt er es zweifelhaft, ob dieses Ferment wirklich aus den Amöben stammte und nicht etwa nur aus den zu deren Fütterung benutzten Colibacillen. STOLC (1900) hat jedoch beobachtet, daß *A. proteus* Stärkekörner aufnahm und in der für diastatische Fermente charakteristischen Weise korrodierte. (Vgl. hierzu auch die nachfolgende Besprechung von *Paramaecium*.) *Pelomyxa* verdaut nach demselben Autor auch Cellulose, wie dies nach RHUMBLERS Beobachtung auch bei *A. verrucosa* der Fall zu sein scheint.

Defäkation. Nach vollendeter Verdauung werden die unverdauten Nahrungsreste ausgestoßen. Diese Defäkation ist ebenso wie die Nahrungsaufnahme an keine bestimmte Körperstelle gebunden und kann gleich dieser in verschiedener Weise erfolgen.

1. Im einfachsten Falle erfolgt die Defäkation durch einen Vorgang, der umgekehrt wie die Nahrungsaufnahme durch Umfließung oder durch Umwallung verläuft. Wenn der Kotballen nahe an die Oberfläche des Amöbenkörpers getreten ist, zerreißt die dünne ihn von dem umgebenden Medium trennende Plasmaschicht und von der Rißstelle fließt das Plasma

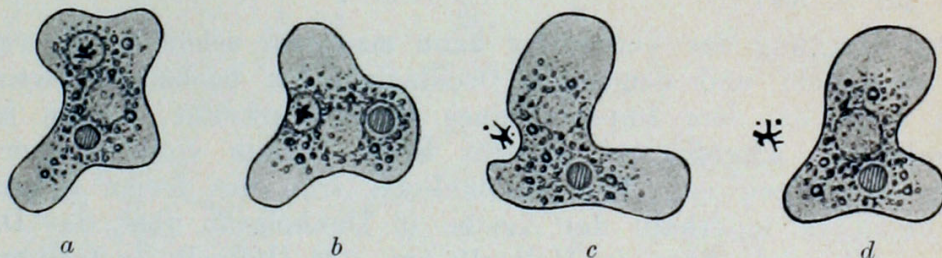


Fig. 80. *Amoeba (Vahlkampfia) limax*. Vier aufeinander folgende Stadien der Defäkation. Neben dem dunklen Kern liegt im Plasma eine blasse kontraktile Vakuole. Aus VERWORN 1897.

nach den Seiten fort, so daß beim Weiterkriechen der Amöbe der Kotballen hinter ihr liegen bleibt (Fig. 80), falls er nicht etwa, was sehr häufig geschieht, anfangs noch an der Oberfläche der Amöbe kleben bleibt, eine Zeitlang mit herumgeschleppt und schließlich an irgend einem äußeren Hindernis abgestreift wird.

2. Die Defäkation durch Ausschleuderung, von RHUMBLER 1898 für *A. verrucosa* geschildert, scheint der Nahrungsaufnahme durch Import zu entsprechen. Die Entleerung des Nahrungsrestes erfolgt hierbei so gewaltsam, daß derselbe oft ziemlich weit fortgeschleudert wird. Abgesehen von dem Platzen der Kotvakuole ist hierbei jedoch keinerlei der Ausstoßung entsprechende Gestaltsveränderung der Amöbe wahrnehmbar. In ganz entsprechender Weise kann *A. verrucosa* auch Oscillarienfäden wieder ausstoßen, die sie erst kurz vorher aufgenommen hatte und nun in unverdaulichem Zustande wieder freigibt (Fig. 81).

3. Endlich kann die Defäkation auch ganz wie die Nahrungsaufnahme mit Hilfe einer Invagination erfolgen. Wenn *A. terricola* sich zur Defäkation anschickt, so beginnt die Pellicula um die der Oberfläche nahe gerückten Nahrungsreste herum „durch Einstülpung eine erst flache, dann immer tiefer einschneidende ringförmige Vertiefung zu bilden, deren innerer Durchmesser sich unterhalb der auszustoßenden Stoffe verringert und dadurch eine Art Blase, mit den Resten der Nahrungskörper als Inhalt, hervortreten läßt (Fig. 82, 1—3). Die äußere Wand der Einsenkung rückt nun immer näher an die innere heran, um schließlich mit ihr zu verschmelzen (Fig. 82, 4, 5); auch in diesem Falle ist dies leicht erklärlich durch den mangelnden Einfluß des Wassers. Dadurch aber vertieft sich der schon im vorigen Stadium angedeutete Kanal, sein Durchmesser wird geringer, während gleichzeitig ein Anschwellen der bruchsackartig über die Oberfläche emporragenden Defäkationsblase zu beobachten ist. Augenscheinlich werden von innen noch diffus im Plasma verteilte Stoffe in den Kanal hineingebracht. Dann verschließt sich das tief im Innern der Amöbe liegende Ende des Kanales durch vielseitiges Verschmelzen der Wände, so daß eine stark gefaltete Verdickung entsteht (Fig. 82, 5). Die Kanalwände verschmelzen zu einem Faden (Fig. 82, 6) und auf diesem Stadium löst sich meistens die Defäkations-

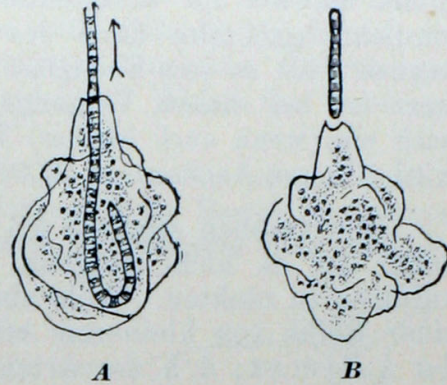


Fig. 81. *Amoeba verrucosa* EHRBG., einen kurz vorher aufgenommenen, noch unverdauten Algenfaden wieder rasch ausstoßend, ohne daß sie bei der Ausstoßung irgendwie entsprechende Gestaltsveränderungen vornimmt. *B* 5 Minuten später als *A* gezeichnet. Nach RHUMBLER 1898 aus DOFLEIN.

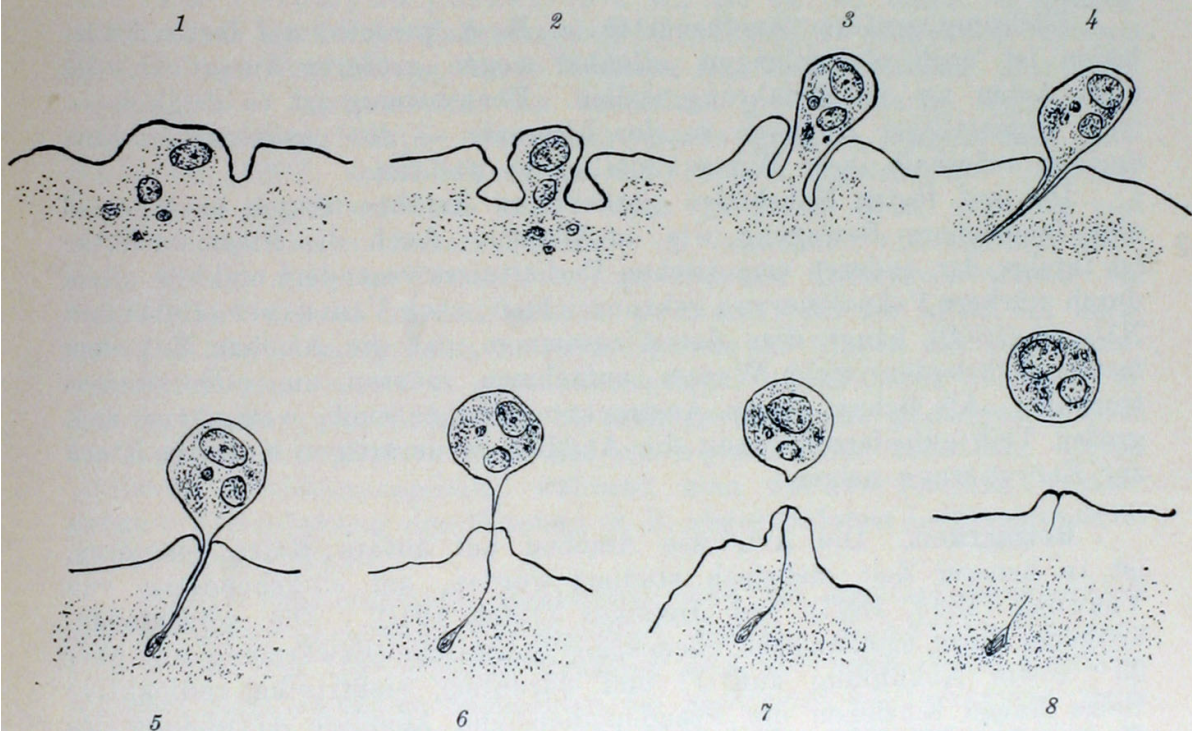


Fig. 82. *Amoeba terricola* GREFF. Defäkation mit Hilfe einer Invagination, schematisch. Nach GROSSE-ALLERMANN 1909.

blase, die sich hoch über die Oberfläche erhoben hat und nur noch durch einen dünnen aber äußerst zähen Faden mit dem Kanaleingang in Verbindung steht, ab (Fig. 82, 7). Der Faden im Innern der Amöbe zerreißt und nur ein feiner Strich im Ektoplasma deutet noch längere Zeit die Stelle an, wo die Invagination stattgefunden hatte (Fig. 82, 8). Das verdickte gefältelte Ende des Kanales aber ist noch tagelang zu erkennen“, bis es vom Endoplasma aufgelöst wird. Besonders bemerkenswert ist bei diesem Vorgange, daß zusammen mit den Nahrungsresten auch ein (wenn auch kleiner) Teil des Amöbenkörpers selbst abgestoßen wird (GROSSE-ALLERMANN 1909).

Die Amöben sind auf körperliche Nahrung angewiesen und daher ist es nicht möglich, sie nach Art von Bakterien in Reinkulturen zu züchten. Wohl aber gelingt die künstliche Züchtung einer Reihe von kleineren Arten, wie z. B. der Amöben vom Typus der *A. limax*, d. h. der Arten der Gattung *Vahlkampfia* CHATTON (1912), auf flüssigen und festen Nährböden in Form sogenannter „gemischter Reinkulturen“, d. h. zusammen mit Bakterien, die ihnen als Nahrung dienen.

Die Zahl der verschiedenen für Amöbenzüchtung benutzten Nährböden ist eine sehr große. Wesentlich scheint nur zu sein, daß sie den zur Nahrung bestimmten Bakterien das Gedeihen ermöglichen, denselben andererseits aber auch nicht allzugünstige Existenzbedingungen schaffen, da sonst die Amöben völlig überwuchert werden. Deshalb ist Bouillon u. dgl. nur in starken Verdünnungen brauchbar. Unter den festen Nährböden hat sich besonders bewährt ein Agarnährboden nach FROSCH (Agar 0,5, Leitungswasser 90,0, gewöhnliche alkalische Nährbouillon 10,0). Als flüssigen Nährboden empfiehlt GLÄSER (1912) 2–3 Tropfen Eiweiß auf ein Uhrschildchen mit Leitungswasser von 6 cm Durchmesser.

Züchtung größerer Amöbenarten (z. B. *A. proteus*) auf festen Nährböden ist noch nie gelungen, offenbar wegen größerer Ansprüche, die diese Arten an die Ernährung stellen. Ebenso wenig ist es möglich — trotz gegenteiliger Angaben in der Literatur — die parasitischen Entamoeben außerhalb ihrer Wirte künstlich zu züchten.

Die auf festen Nährböden gezüchteten Amöben zeigen naturgemäß eine langsamere Bewegung wie im Wasser. Auch die Plasmastruktur ist infolge der anderen osmotischen Verhältnisse verändert und vor allem durch stärkere Vakuolisierung gekennzeichnet; nach VAHLKAMPF (1904) und NÄGLER (1909) hängt dies damit zusammen, daß die Amöben auf dem festen Nährboden mehr Wasser aufnehmen müssen, um nicht auszutrocknen. Als Schutz gegen Austrocknung ist es auch, wenigstens zum großen Teil, aufzufassen, wenn die Amöben in derartigen Kulturen stark zur Encystierung neigen.

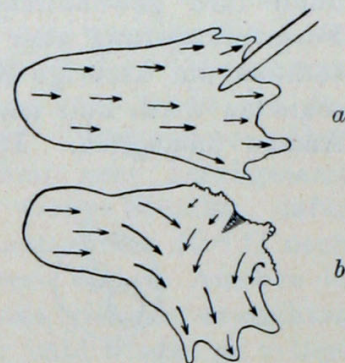
Reizbarkeit. Die Art, wie Amöben auf äußere Reize reagieren, ist in neuerer Zeit mehrfach studiert worden, am eingehendsten von VERWORN (1889, 1897) und JENNINGS (1904, 1910). Die verschiedenartigsten Reize, mechanische, chemische, thermische (Erwärmung auf über 35° sowie Abkühlung auf 0° und darunter), elektrische, radioaktive Reize haben Einziehen der Pseudopodien und kugelige Abrundung des Körpers zur Folge (Fig. 68 B). Auch bei schwächeren, noch nicht zur Abrundung führenden Reizen ist die Art der Reaktion kriechender

Amöben auf verschiedenartige Reize im wesentlichen immer die gleiche. Von Einzelheiten sei folgendes angeführt:

1. **Mechanische Reize.** Wenn eine mit sternförmig ausstrahlenden Pseudopodien im Wasser flottierende Amöbe mit einem einzelnen Pseudopod eine Unterlage berührt, so bleibt dieses infolge Klebrigwerdens seiner Oberfläche haften und der Körper wird mehr und mehr an die Unterlage herangezogen, unter gleichzeitigem Einziehen der übrigen Pseudopodien; die Amöbe schmiegt sich auf diese Weise der Unterlage an und kriecht dann auf ihr hin (Fig. 71).

Wird dagegen eine kriechende Amöbe an ihrem Vorderende mechanisch gereizt, so führt dies zunächst zu Stillstand der Bewegung, worauf ein anderes Pseudopod in anderer Richtung ausgesendet wird und die

Fig. 83. **Negative Reaktion der Amöbe auf mechanische Reizung.** Eine Amöbe, die sich in der durch Pfeile bezeichneten Richtung fortbewegt, wird an ihrem Vorderende mit der Spitze eines Glasstabes gereizt (a). Daraufhin zieht sich diese Stelle ein, die Strömungen ändern sich, und die Aussendung der Pseudopodien erfolgt in einer neuen Richtung (b). Bei Reizung des ganzen Vorderendes ist die Richtungsänderung eines völlig neuen Pseudopods noch wesentlich stärker. Nach JENNINGS 1904.



Amöbe in dieser neuen Richtung wieder weiterkriecht (Fig. 83). Durch wiederholte derartige Reizung konnte JENNINGS eine Amöbe in einer beabsichtigten Richtung vorwärtstreiben.

2. **Chemische Reize.** Gegen chemische Veränderungen des Mediums sind zwar nicht alle, aber doch manche Amöben sehr empfindlich. Für *Pelomyxa palustris* z. B., die in der Regel in schlammigen, stark nach Schwefelwasserstoff oder Sumpfgas riechenden Wassern lebt, ist eine Verdünnung dieses Mediums fast immer tödlich. *Amoeba vespertilio* andererseits, die besonders gut in klaren, algen- und diatomeenreichen Sumpf- oder Moorwassern gedeiht, kugelt sich nach Doflein (1907) sofort ab, wenn die Fäulnis verwesender tierischer Substanzen (Insektenleichen z. B.) einen gewissen Grad erreicht, und verharrt tagelang in diesem Zustand, um schließlich abzusterben, wenn nicht Zufuhr frischen Wassers erfolgt, die alle Individuen wieder beweglich und normal werden läßt. *A. proteus*, die vor allem ein kalkarmes Wasser beansprucht, ist nach GRUBER (1912) von der Beschaffenheit des Kulturwassers in ganz überraschend hohem Grade abhängig, so daß es oft der reine Zufall ist, ob man gerade ganz günstiges Wasser für Kulturzwecke findet; auch auf sie wirkt Fäulnis schädlich, ebenso stärkerer Kohlensäuregehalt, während eine der Verwendung vorausgehende Durchlüftung des Wassers (z. B. abgestandenen Leitungswassers) keine Vorteile bietet.

Positiv chemotaktische Reaktionen sind bei Amöben experimentell mit Sicherheit noch nicht herbeigeführt worden. Negative Chemotaxis in Form der gleichen Reaktion wie auf mechanische Reize ist dagegen nicht schwer zu beobachten, am leichtesten nach JENNINGS durch Einbringen einzelner Körnchen von Methylgrün oder Methylenblau in das Wasser. Die Reaktion tritt dann ein, wenn das Vorderende der

Amöbe in Berührung kommt mit der sich von diesem Körnchen ausbreitenden Farbstoffwolke (Fig. 84).

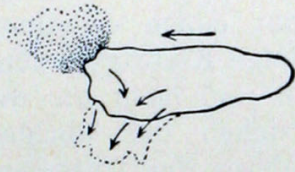


Fig. 84. **Negative Chemotaxe der Amöbe.** Etwas Methylgrün (punktiert dargestellt) diffundiert gegen das Vorderende der Amöbe. Diese reagiert mit Aussenden eines neuen Pseudopods auf einer Seite des Vorderendes und Fortkriechen in der dadurch bestimmten Richtung. Die Pfeile zeigen die Richtung der Plasmaströmung. Nach JENNINGS 1904.

In durch Kalilaugezusatz schwach alkalisch gemachtem Wasser nehmen *Amoeba limax* und andere Arten infolge Aussendung langer schlanker fadenförmiger Pseudopodien, die sich verzweigen können, Sternform an (Fig. 85); bei Ueberführung in gewöhnliches Wasser gewinnen sie dann ihre gewöhnliche Form zurück. Nach GLÄSER (1912) ist diese Formveränderung aber nur indirekt durch die Kalilauge bewirkt; diese zerstört die klebrige Substanz, die von der Pseudopodienoberfläche abgetrennt wird, und macht dadurch die gewöhnliche Kriechbewegung der Amöbe unmöglich. Die fadenförmigen Pseudopodien „stellen offenbar

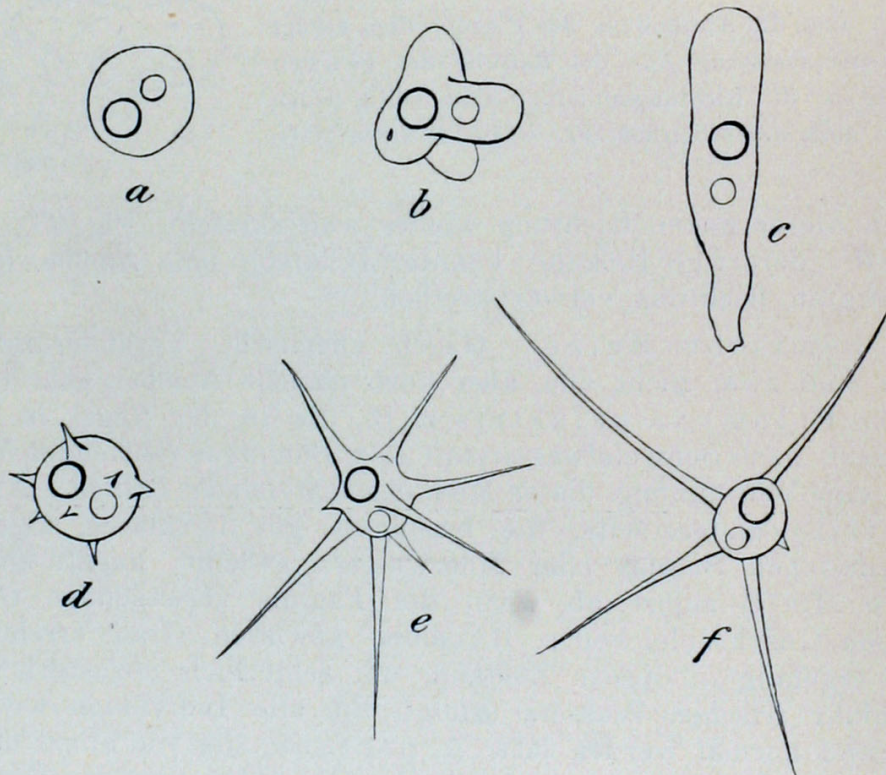


Fig. 85. **Amoeba (Vahlkampfia) limax.** a kontrahiert, b im Beginn der Pseudopodienbildung (Proteusform), c gewöhnliche Limaxform, d–f Formen nach Zusatz von Kalilauge, d am Beginn von deren Einwirkung, e–f Radiosaformen (vgl. hierzu Fig. 71). Nach VERWORN 1897.

einen Versuch der Amöbe dar, sich doch noch einigermaßen zu befestigen. Dazu ist diese Form der Pseudopodien — zahlreiche dünne Fortsätze, die eine möglichst große Oberfläche entwickeln — sicher die geeignetste und wir finden sie daher besonders ausgebildet bei den Foraminiferen, die eine schwere Schale herumzuschleppen haben.“

In sauerstofffreiem Medium stellen die Amöben und andere Rhizopoden ihre Pseudopodienbildung ein, um sie erst bei Sauerstoffzufuhr wieder aufzunehmen.

3. Thermische Reize. Wenn JENNINGS eine kriechende Amöbe an ihrem Vorderende vorsichtig durch Erwärmung reizte (durch Berührung des Deckglases des Präparates vor der Amöbe mit einer erhitzten Nadel) so erfolgte die gleiche Reaktion wie bei entsprechender mechanischer Reizung und die Amöbe kroch nach einer anderen Richtung (negative Thermotaxis). Auf Kältereize konnten dagegen weder VERWORN noch JENNINGS eine Reaktion erzielen, soweit nicht die Stärke des Reizes zu kugeliger Abrundung führte.

Im übrigen ist die Temperaturempfindlichkeit bei verschiedenen Amöben offenbar recht verschieden. *A. vespertilio* z. B. kriecht nach DOFLEIN (1907) bei Temperaturen über 30°C noch außerordentlich lebhaft umher, um erst bei 37°C sich abzukugeln und abzusterben; bei Abkühlung bis auf etwa 5°C tritt eine starke Verlangsamung aller Lebenserscheinungen (Bewegung, Stoffwechsel, Vermehrung) ein und infolge der Verzögerung der Vermehrung durch Teilung wachsen die Tiere zum Teil zu sonst nicht erreichten Größen heran; bei $+2-4^{\circ}\text{C}$ erstarren sie, ohne sich vorher abgekugelt zu haben. Bei *A. terricola* ist dagegen nach GROSSE-ALLERMANN (1909) schon bei Temperaturen über 20°C die Beweglichkeit und Widerstandsfähigkeit sehr herabgesetzt und bei 25°C leben die Amöben meist nur noch wenige Stunden; dafür ist aber ihre Beweglichkeit auch bei Temperaturen unter 10°C noch eine sehr lebhafte und ein kurzwährendes Einfrieren einiger Amöben in einem Wassertropfen führte noch nicht zu deren Tode, vielmehr erwachten sie nach dem Auftauen bei steigender Temperatur bald wieder zu vollem Leben. Bei *A. proteus* führt geringe Erwärmung nach GRUBER (1912) zu einer Steigerung der Pulsationsfrequenz der kontraktilen Vakuole, Erwärmung auf 30°C dagegen zu einer stetigen Zunahme der Vakuolengröße bis auf ein Vielfaches, ohne daß eine Entleerung erfolgt, und erst eine Erholung der Amöbe in kühlem Wasser läßt den ursprünglichen Rhythmus wieder auftreten. Vgl. auch Fig. 68 auf S. 46.

Die bei Erwärmung innerhalb der überhaupt erträglichen Grenzen eintretende Steigerung der Bewegungsintensität ist nach Versuchen, die GRUBER (1912) bei *A. proteus* machte, nur eine vorübergehende: eine konstante Temperatur von 22°C hat nach etwa 24 Stunden eine deutliche Schädigung zur Folge und bei 30°C erfolgt schon nach etwa $1\frac{1}{4}$ Stunden der Zerfall der Amöben, die anfangs sehr lebhaft beweglich waren, sich später unter degenerativer Veränderung des Ektoplasmas abkugelten, sich aber nach einstündiger Einwirkung der genannten Temperatur trotz der bereits eingetretenen starken äußeren Veränderungen noch vollständig erholen konnten.

4. Optische Reize. Helle Belichtung scheint nach Beobachtungen von RHUMBLER (1898) die Nahrungsaufnahme der Amöben zu verhindern oder zu erschweren (in der Tat ist bei den mit dem Spiegel stark belichteten Amöben unter dem Mikroskop die Nahrungsaufnahme nur selten zu beobachten), dagegen die Defäkation zu fördern. Vielleicht erfolgt die Nahrungsaufnahme vorwiegend bei Nacht, die Defäkation am Tage. Nach NÄGLER (1909) hemmt starkes Licht die bereits begonnene Kernteilung, womit es wohl auch zusammenhängt, daß die Teilungsvorgänge sich vorzugsweise bei Nacht abspielen.

Plötzliche intensive Belichtung führt zu kugeliger Kontraktion und späterem Absterben der Amöben (ENGELMANN 1879, DREYER 1903).

Plötzliche Belichtung, die nur das äußerste Vorderende einer kriechenden *Amöbe limax* trifft, führt zu Umkehr der Bewe-

gungsrichtung (negative Phototaxis, Fig. 86). Im übrigen konnte aber eine Reaktion der Amöben auf senkrecht von unten einfallende

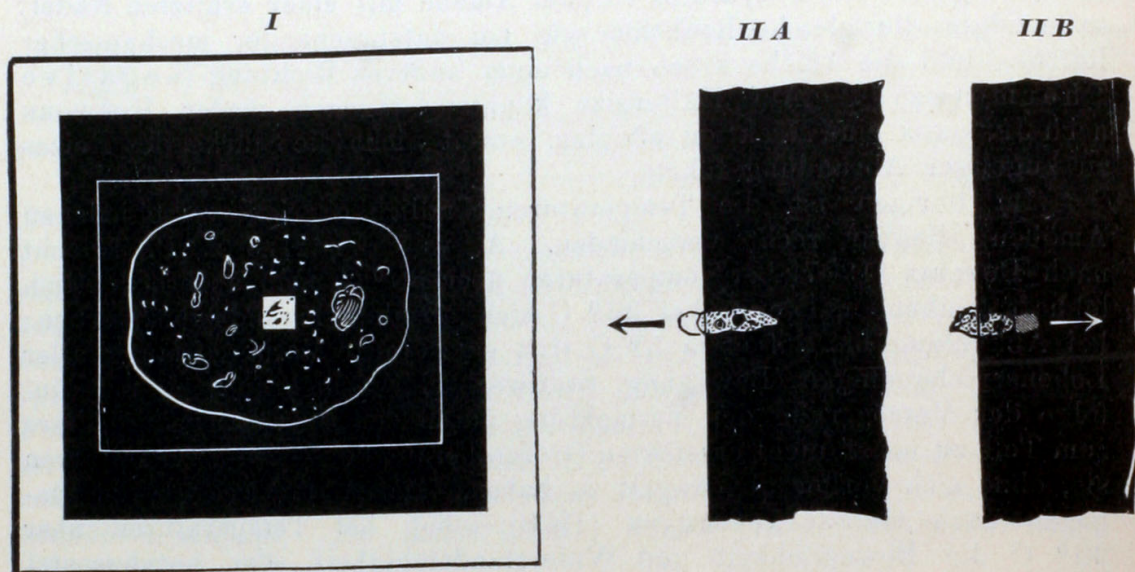
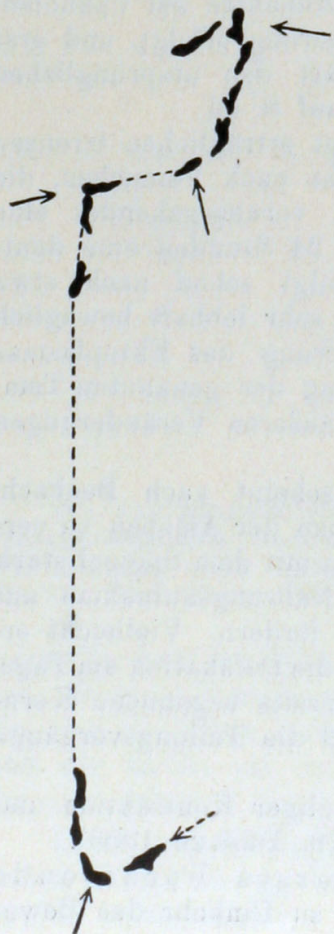


Fig. 86. **Negative Phototaxis der Amöbe.** I Auf einem großen Deckglas befindet sich eine Wassermasse mit vielen Amöben. Das Deckglas liegt über einem schwarzen Grunde, der in der Mitte einen scharfen, viereckigen Querschnitt hat. Durch Verschieben des Deckglases kann eine Amöbe gerade so eingestellt werden, daß sie beim Verfolg ihrer Kriechbahn über die Grenze des Ausschnittes kriecht (II A). Wird dann plötzlich konzentriertes Sonnenlicht vom Mikroskopspiegel durch den Ausschnitt gelassen, so kriecht die Amöbe sofort wieder ins Dunkle zurück (II B). Die Pfeile geben die Kriechrichtung an. Nach VERWORN 1897.



Lichtstrahlen nicht konstatiert werden, was freilich nach JENNINGS vielleicht nur mit technischen Schwierigkeiten zusammenhängt. Fallen die Lichtstrahlen schräg von der Seite auf die Amöbe, so reagiert diese nach DAVENPORT (1897) negativ durch Fortkriechen nach der entgegengesetzten Richtung (Fig. 87).

HARRINGTON und LEAMING (1900) fanden Verschiedenheiten der Reaktion auf verschiedenfarbiges Licht (Stillstand in weißem und blauem, Wiederbeginn der Bewegung in rotem Licht); DREYER (1903) fand umgekehrt die Beweglichkeit einer Amöbe in rotem Licht außerordentlich viel geringer als in weißem oder blauem Licht, während zwischen letzteren beiden kein wesentlicher Unterschied bestand. Auch die von DREYER untersuchte

Fig. 87. **Negative Phototaxis der Amöbe.** Die schwarz gezeichnete Amöbe bewegte sich zuerst in der durch den punktierten Pfeil angedeuteten Richtung. Dann wurde sie seitlich belichtet, wobei die Lichtstrahlen nacheinander aus den durch ausgezogene Pfeile angedeuteten Richtungen kamen. Jedesmal wenn die Richtung der Belichtung wechselte, änderte auch die Amöbe ihren Kurs derart, daß sie stets von der Lichtquelle fort kroch. Nach DAVENPORT (1897) und JENNINGS (1910).

Schädigung der Amöben durch sehr intensives Licht ist bei Licht verschiedener Wellenlänge sehr verschieden: sehr groß bei ultraviolettem, überhaupt nicht nachweisbar bei rotem Licht.

5. Elektrische Reize sind vielfach Gegenstand der Untersuchung gewesen. Einzelne Induktionsschläge haben kugelige Abrundung zur Folge (ENGELMANN 1869). Unter dem Einfluß des konstanten gal-

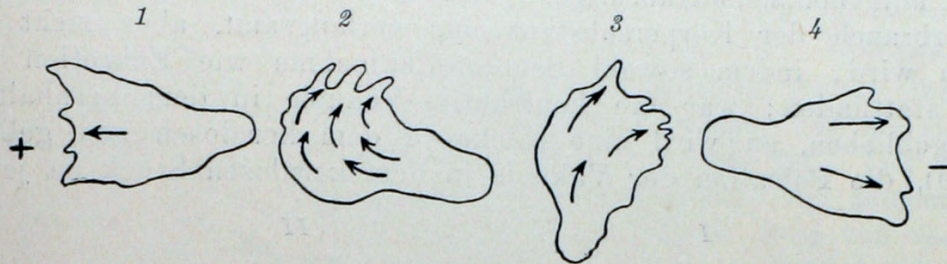


Fig. 88. **Negative Galvanotaxis der Amöbe.** Die Pfeile zeigen die Richtung der Plasmaströmung. Bei 1 ist die Fortbewegungsrichtung vor der Einwirkung des elektrischen Stromes angedeutet; 2—4 zeigen aufeinander folgende Stellungen nach der Durchleitung des elektrischen Stromes durch das Präparat. Nach JENNINGS 1904.

vanischen Stromes kriecht die Amöbe, häufig unter Veränderung ihrer Pseudopodienform (Fig. 23), nach der Richtung der Kathode (negative Galvanotaxis, Fig. 88).

6. Die Einwirkung von Röntgen- und Radiumstrahlen führt bei Amöben zum Einziehen der Pseudopodien und zu kugeliger Abrundung, der Absterben und Zerfall folgen kann. Formen mit wasserreichem leichtflüssigen Plasma scheinen leichter geschädigt zu werden wie solche mit zähflüssigem Plasma und bei Formen mit zahlreichen Kernen ist die Schädigung sehr viel erheblicher wie bei einkernigen (SCHAUDINN 1899, ZÜLZER 1905). Als Beispiel sei angeführt, daß bei Radiumbestrahlung nach ZÜLZER *Pelomyxa palustris* nach 4—10 Minuten unter Beschleunigung der Plasmaströmung lebhafter umherzukriechen, nach weiteren 8—15 Minuten dagegen sich abzukugeln begann; nach abermals ca. 10 Minuten können die Tiere dann bereits zerfallen, während andere (kleinere? — bei Röntgenbestrahlung sterben nach SCHAUDINN größere, kernreichere *Pelomyxen* früher ab wie kleinere) 1—4 Stunden ruhig daliegen können, um dann erst langsam aufzuquellen und zu zerplatzen. Die kleine einkernige *Amoeba limax* erwies sich demgegenüber viel widerstandsfähiger: wurden schnell umherkriechende Tiere der Radiumbestrahlung ausgesetzt, so verlangsamten sie allmählich ihre Bewegungen; nach 3—4 Stunden lagen sie ruhig und kugelten sich ab, um dann nach 24 Stunden noch unverändert zu sein; wurden sie nunmehr der Radiumeinwirkung wieder entzogen, so erholten sie sich rasch und krochen schon nach 2 Stunden wieder normal umher.

Als Merotomie bezeichnete BALBIANI das Zerschneiden einer lebenden Zelle in zwei oder mehr Stücke zwecks Feststellung, wie sich die verschiedenen Stücke verhalten. Solche Versuche sind bei Amöben von HOFER (1889), STOLC (1902 und 1910) und GRUBER (1912) ausgeführt worden. Zerschneidet man eine *A. proteus* derart, daß man ein kernhaltiges und ein kernloses Stück erhält, so verhält sich das kernhaltige wie eine normale Amöbe. Auch das kernlose Stück kann noch längere Zeit am Leben bleiben, nach HOFER durchschnittlich 9—10 Tage, bei einem Versuche von STOLC sogar 34 Tage, schließlich aber geht es immer zugrunde. Seine Bewegungen sind verändert und herabgesetzt; sie erscheinen un-

geordnet, scheinbar ziellos. Anscheinend ist die normale Reaktion des Plasmas auf äußere Reize infolge des Verlustes des Kernes gestört und insbesondere haben die Pseudopodien meist die Fähigkeit verloren, bei Berührung klebrig zu werden und sich an eine Unterlage anzuheften. Die Erscheinungen des Stoffwechsels sind zwar nicht völlig aufgehoben, aber doch wesentlich eingeschränkt. Vor allem sind die kernlosen Stücke unfähig, aufgenommene Nahrung zu verdauen und zu assimilieren, während der Verbrauch der Körpersubstanz nur verlangsamt, aber nicht aufgehoben wird, indem sowohl Sauerstoffaufnahme wie Exkretion auch weiter stattfinden; war die kontraktile Vakuole in dem kernhaltigen Stück geblieben, so wird eine solche in dem kernlosen neu gebildet (Fig. 89), die Pulsation der Vakuole in dem kernlosen Stück ist jedoch

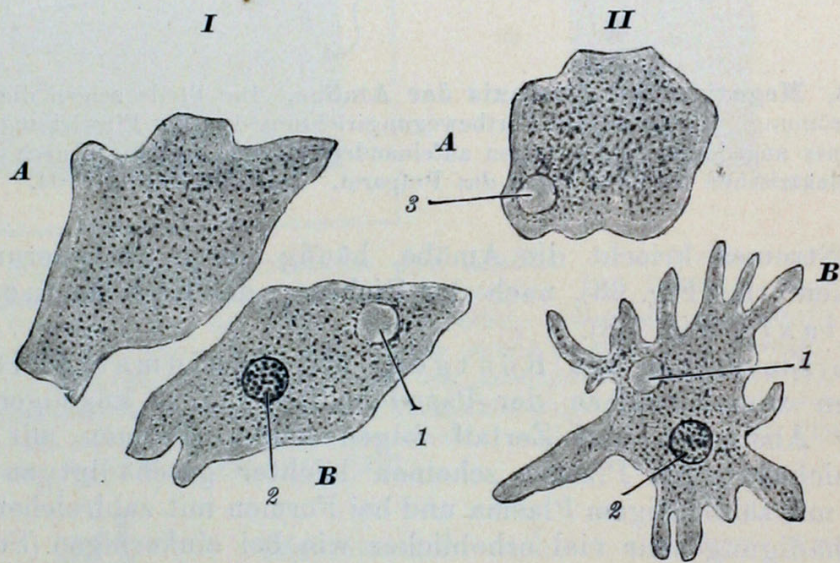


Fig. 89. *Amoeba proteus*, Merotomie. *I* unmittelbar nach der Durchschneidung, *II* am zweiten Tage nach derselben. *A* kernlose, *B* kernhaltige Hälfte. *1* Alte kontraktile Vakuole, bei der Durchschneidung der kernhaltigen Hälfte zugeteilt, *2* Kern, *s* in der kernlosen Hälfte neu aufgetretene kontraktile Vakuole. Nach HOFER 1889.

verlangsamt. — Das Verhalten des Kernes in dem kernhaltigen Bruchstück hat GRUBER näher untersucht und hierbei gefunden, daß der Kern sich durch Verkleinerung dem reduzierten Volum des umgebenden Plasmas anzupassen sucht und sich erst später wieder vergrößert, wenn die operierte Amöbe auch ihrerseits wieder im Gefolge ihrer Nahrungsaufnahme heranwächst. Für den normalen Ablauf der Lebensvorgänge ist also anscheinend ein streng geregeltes Größenverhältnis von Kern und Plasma erforderlich (vgl. auch die Besprechung der Kern-Plasma-relation bei *Paramecium*, S. 119 f.).

Encystierung. Langsam auftretende schädigende Einflüsse führen bei den Amöben die Bildung einer Cyste herbei (vgl. Fig. 94 *B*).

Die Encystierung geht bei *A. vespertilio* nach DOFLEIN (1907) folgendermaßen vor sich: „Das Tier zieht seine Pseudopodien ein und kugelt sich unter Ausstoßung einzelner Fäkalballen zu einer ziemlich vollkommenen Kugel ab. Sehr bald schon erscheint sie von einer doppelt konturierten Hülle umgeben, welche wasserhell durchsichtig ist und eine weiche Konsistenz besitzt. Ringsum erscheint eine solche Cyste von Fortsätzen bedeckt, welche fast wie kurze, feine Pseudopodien aussehen. Sie sind manchmal breit lappenförmig, manchmal dünn fingerförmig, oft distal verbreitert und in Zipfel geteilt oder sehr fein gezackt. Während

ihrer Entstehung sind sie offenbar zähflüssig und klebrig. Dieselbe Konsistenz scheint die doppeltkonturierte Cystenhülle zu besitzen, von deren Außenseite sie entspringen.“

Bei der im Darne des Menschen schmarotzenden *Entamoeba coli* erfolgt die Encystierung unter dem Einflusse der Eindickung des Kotes im Dickdarm. Die Cystenhülle, innerhalb deren ein Vermehrungsvorgang sich abspielt (vgl. unten), ist anfangs gallertig, um jedoch bald zu fester Schalenkonsistenz zu erhärten (SCHAUDINN 1904, WERNER 1911).

Die von STOLC (1910) beobachtete Encystierung der vielkernigen *Pelomyxa palustris* ist dadurch bemerkenswert, daß ihr ein Vermehrungsvorgang vorausgeht und die Hülle doppelt ist. Der Körper des Tieres, der keine Nahrungskörper oder Ueberreste von solchen mehr enthält, teilt sich in mehrere, und zwar ungleiche Teile von variablen Dimensionen. „Aus jedem solcher Teilstücke wird schließlich eine Cyste, indem die Stücke sich abrunden und besondere Stoffe sezernieren, die eine zweifache Hülle liefern. Die äußere, mehr oder weniger breite, zuweilen sogar undeutliche Hülle ist von einer schleimigen Konsistenz, so daß an ihr verschiedene Partikel (Humus, Algenüberreste, Sandkörnchen) haften bleiben, wogegen die innere, derbere, ziemlich dicke und hellbraune Hüllmembran chitinartiges Aussehen hat. Letztere Hülle ist noch dadurch bemerkenswert, daß ihre Oberfläche keineswegs glatt, sondern in regelmäßigen Abständen mit seichten länglichen Grübchen versehen ist.“ Wie stark die Dimensionen dieser Cysten schwanken, mag durch ein Beispiel erläutert werden, wo 5 von einem Individuum gebildete Cysten einen Durchmesser von 1,0, 0,35, 0,3, 0,2 bzw. abermals 0,2 mm hatten.

Fortpflanzung.

Die häufigste Vermehrungsweise der Amöben ist die Zweiteilung, soweit unsere derzeitigen, noch immer recht wenig befriedigenden Kenntnisse über die Fortpflanzungsverhältnisse der Amöben hierüber ein Urteil gestatten. Daneben kommt aber auch multiple Teilung durch gleichzeitigen Zerfall in eine größere Zahl von Tochterindividuen vor (Fig. 90–93).

Die Teilung des Kernes ist wohl nie eine einfache direkte Durchschnürung, wenn sie als Promitose (Fig. 91 und 146, I) einer

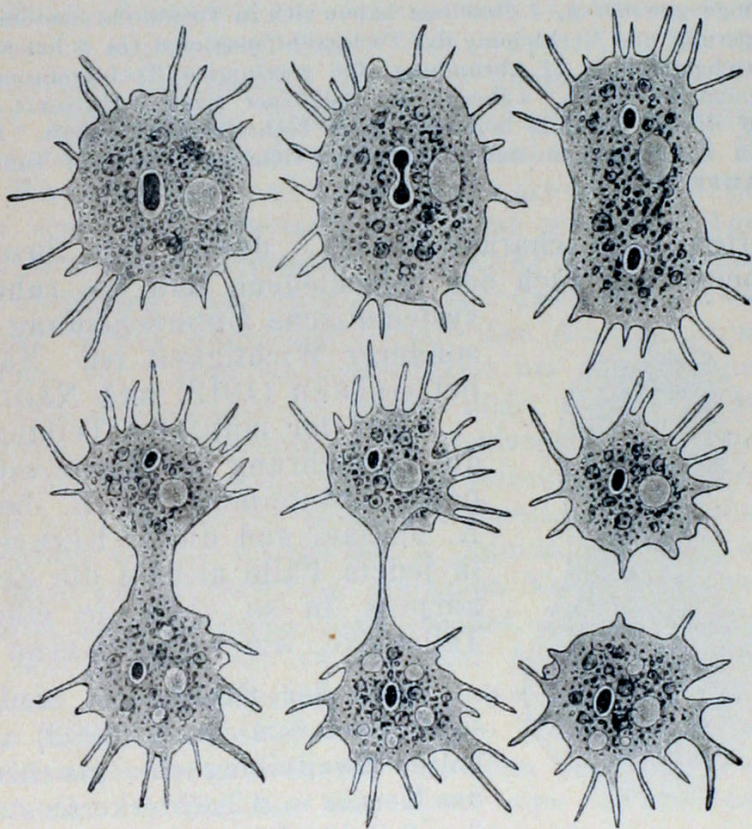


Fig. 90. *Amöba polypodia* M. SCHULTZE in den aufeinander folgenden Stadien der Teilung. Vergr. 250 : 1. Die helle Stelle ist die kontraktile Vakuole, der dunkle Fleck der Kern. Nach F. E. SCHULZE 1875.

solchen auch recht ähnlich erscheinen kann, während sie in anderen Fällen Bilder bietet, die in gewissen Teilungsstadien an die Mitose der Metazoenzellen erinnern (vgl. außer Fig. 91 und 92 auch den Abschnitt über den Kern der Protozoen). So verschiedenartig aber diese Kernteilungen auch verlaufen können, sind sie für die einzelnen

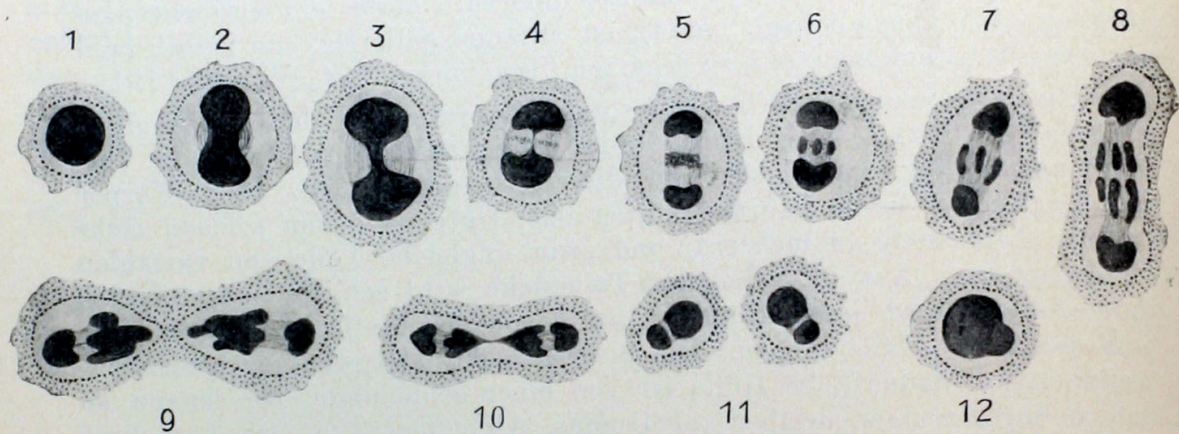


Fig. 91. **Kernteilung (Promitose) von Amoeba (Vahlkampfia) limax.** 1 ruhender Kern, 2, 3 Beginn der Kernteilung und Bildung der Polkappen, 4, 5 Ansammlung von Chromatinkörnchen zwischen den beiden Polkappen (in 4 zwischen diesen noch eine feine chromatische Verbindung), 6 Kondensierung dieser Chromatinkörnchen zu Chromosomen und Bildung einer Äquatorialplatte, 7 die Chromosomen sind in die Länge gewachsen, 8 dieselben haben sich in Tochterchromosomen geteilt, 9, 10 Aneinanderlagerung und Verklebung der Tochterchromosomen (in 9 hat sich die Kernmembran schon durchgeschnürt, 11 Abrundung der vereinigten Tochterchromosomen, die an Größe zugenommen haben, während die Polkörper stark verkleinert sind. Die Amöbe hat sich auf diesem Stadium bereits in zwei Tochteramöben geteilt. 12 Vollständige Vereinigung von Chromosomen und Polkörper. Uebergang in den ruhenden Kern. Nach VAHLKAMPF 1905.

Arten doch charakteristisch, derart daß ihre Verschiedenartigkeit ebenso wie auch der verschiedene Bau des ruhenden Kernes für die systematische Unterscheidung der Amöben von besonderer Wichtigkeit ist. Näheres hierüber siehe bei GLÄSER (1912) und NÄGLER (1909).

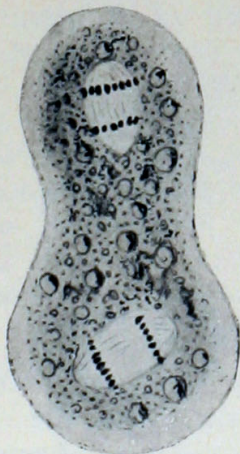


Fig. 92. **Amoeba binucleata** GRUBER. Beginn der Teilung. Beide Kerne teilen sich gleichzeitig. Die Teilung ähnelt sehr einer Mitose. Nach SCHAUDINN 1895.

Bei der multiplen Teilung der Amöben erfolgt die Vermehrung der Kerne wohl stets durch wiederholte Zweiteilung (z. B. bei *A. vespertilio* und *A. blattae*) und dieser Kernvermehrung folgt dann in jedem Falle alsbald die Zerteilung des Plasmakörpers in so viele, je einen Kern enthaltende Teilstücke, wie vorher Kerne entstanden waren.

Bei der Schizogonie von *Entamoeba coli* sollte nach SCHAUDINN (1903) an Stelle einer wiederholten Zweiteilung eine gleichzeitige multiple Teilung des Kernes in 8 Tochterkerne stattfinden, entsprechend der 8-Zahl der entstehenden Tochteramöben; HARTMANN und WITHMORE (1912) haben dies aber nicht bestätigen können und nehmen auch für diese Art wiederholte Zweiteilung an.

Andererseits schildert POPOFF (1911) für *A. minuta* einen Zerfall des ursprünglichen Kernes unter Austritt von Chromatinbrocken (Chromidien)

in das Plasma und darauf folgende Entstehung der neuen Kerne aus wieder zusammentretenden Chromatinbrocken. Seine diesbezüglichen Angaben sind aber bisher um so weniger beweiskräftig, da er selbst betont, daß die Zahl der Kerne allmählich zunimmt, wie es doch gerade bei wiederholter Zweiteilung der Fall sein müßte. Bei *Arcella* hat zwar HERTWIG (1899) die Entstehung zahlreicher neuer Kerne aus Chromidien bei gleichzeitigem Zerfall der beiden alten Kerne beobachtet; aber hier entwickeln sich diese „Sekundärkerne“ gleichzeitig und nicht nacheinander.

Multiple Teilung ist bisher erst von verhältnismäßig wenig Amöben sicher bekannt, wahrscheinlich aber weiter verbreitet. Sie kann gleich der Zweiteilung als vegetative Vermehrung auftreten oder aber in Zusammenhang mit Befruchtungsvorgängen stehen, und da wohl stets neben ihr auch noch einfache Zweiteilung vorkommt, so ergibt sich hieraus ein verhältnismäßig komplizierter Entwicklungskreis, der zuerst von SCHAUDINN (1903) bei der im Darms des Menschen schmarotzenden *Entamoeba coli* verfolgt wurde und den wir an dem Beispiel von *Amoeba minuta* POPOFF (1911) unter vergleichender Heranziehung einiger anderer Arten etwas näher betrachten wollen.

A. minuta ist eine Amöbe von 15–25 μ Durchmesser, die in Sofia in mit Kopfsalatinfus angesetzten Flagellatenkulturen auftrat. Ihre vegetative Vermehrung (Agamogonie) besteht entweder in Zweiteilung (Fig. 93, 2) oder in multipler Teilung (Schizogonie), bei der ohne vorherige Encystierung gleichzeitig bis zu 9 Tochtermöben entstehen (Fig. 93, 3–5). Sowohl die Zweiteilung wie die Schizogonie können sich mehrfach wiederholen und ganz das gleiche gilt auch für die Entamöben (z. B. *Entamoeba coli* und *Entamoeba muris*), bei deren Schizogonie stets 8 Tochtermöben gebildet werden. Auch bei der in Sumpf- und Moorwasser lebenden *A. vespertilio* DOFLEIN (1907) kommt neben Zweiteilung eine Schizogonie mit dreimaliger Zweiteilung des Kernes und darauf folgendem Zerfall des Amöbenkörpers in 8 junge Tochtermöben vor. Eine Gesetzmäßigkeit bei dem Wechsel zwischen Zweiteilung und Schizogonie ist bisher nicht bekannt. Bei *Amoeba blattae* kommt nach MERCIER (1909) Schizogonie nicht vor, so daß die Agamogonie hier nur in wiederholten Zweiteilungen besteht; auch von *Entamoeba tetragena* ist bisher nur Zweiteilung bekannt.

Neben der Schizogonie kommt sowohl bei *A. minuta* wie auch bei den Entamöben noch eine zweite Form der multiplen Vermehrung vor, die sich von der ersteren sofort dadurch unterscheidet, daß sie innerhalb einer Cyste erfolgt (Fig. 93, 6–10). Bei *A. minuta* ist die hierbei entstehende Zahl von Tochterindividuen eine verhältnismäßig große (bis zu ca. 40). Nachdem die Kerne für diese Tochterindividuen gebildet sind, vielleicht auch schon während dieselben noch eine Vermehrung erfahren, entsteht im Zentrum der Cyste eine unregelmäßig gestaltete große Vakuole (Fig. 93, 9), die zuerst einheitlich ist, dann aber allmählich feine Ausläufer nach allen Richtungen hin entsendet (Fig. 93, 10). Diese Vakuolenkanäle winden sich überall im Plasma durch und zerteilen dieses derart, daß um jeden Kern eine Plasmaschicht abgegrenzt wird. Anscheinend wird hierbei das ganze Plasma aufgebraucht, ohne daß ein zugrunde gehender „Restkörper“ übrig bleibt. Ist diese Entwicklung abgeschlossen, so „reißt die Cystenwand an

manchen Stellen durch“ und läßt die in der Cyste entstandenen Tochterindividuen in Form kleiner Amöben austreten (Fig. 93, 11). Die letzteren sind die befruchtungsfähigen Gameten und die Vermehrung innerhalb der Cyste charakterisiert sich somit als Gamogonie im Gegensatz zu

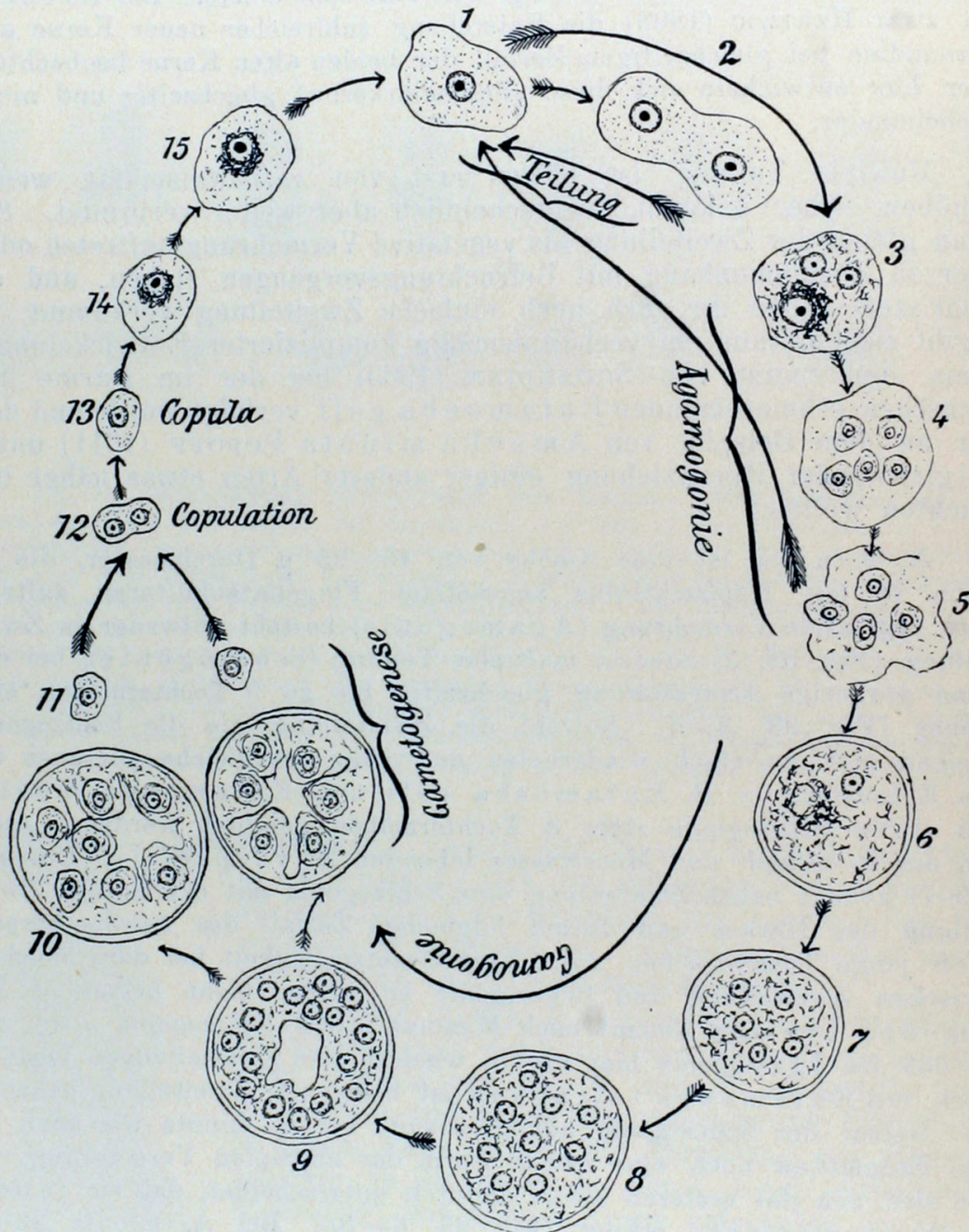


Fig. 93. **Zeugungskreis von *Amoeba minuta* POPOFF.** Schematisch. 1 erwachsene Amöbe, 2 Vermehrung durch Zweiteilung (kann sich mehrfach wiederholen), 3—5 Schizogonie (Agamogonie) (ebenfalls mehrfach wiederholt), 6 Encystierung der erwachsenen Amöbe, 7—9 Vermehrung der Kerne in der encystierten Amöbe (Gamogonie), 10 Sonderung der Gameten innerhalb der Cysten, 11 ausgeschlüpfte Gameten, 12 Kopulation zweier Gameten, 13 Copula, 14—15 junge herauwachsende Amöben. Aus POPOFF 1911.

den vegetativen Vermehrungsweisen (Agamogonie) durch Zweiteilung und Schizogonie. Irgendwelche Geschlechtsunterschiede zwischen den Gameten oder auch zwischen den sie erzeugenden Cysten sind nicht wahrnehmbar; es handelt sich also um Isogameten. Je zwei dieser

Gameten verschmelzen dann miteinander, wobei der Verschmelzung des Plasmas zu einem einheitlichen Plasmakörper (Fig. 93, 12) auch die Verschmelzung der beiden Kerne zu einem neuen einheitlichen Kerne (Kopulationskern, Frischkern oder Synkaryon) folgt (Fig. 93, 13). Nach Analogie mit den Erfahrungen bei anderen Protozoen (auch speziell Sarcodinen, z. B. *Trichosphaerium*, *Peneroplis*) dürfen wir vermuten, daß nur 2 aus verschiedenen Cysten stammende Gameten miteinander kopulieren (in Fig. 93 dadurch angedeutet, daß in Stadium 10 2 Cysten gezeichnet sind, was nicht etwa als eine Teilung der einen in Stadium 9 gezeichneten Cyste aufgefaßt werden darf). Die durch Verschmelzung der beiden Gameten entstandene Copula wächst dann alsbald heran (Fig. 93, 13—15, 1), um hierauf wieder zur vegetativen Vermehrung durch Zweiteilung oder durch Schizogonie zu schreiten. Damit sind wir bei dem Stadium wieder angelangt, von dem unsere Betrachtung ausging; der Entwicklungskreis der Amöbe ist geschlossen.

Bei *A. blattae* erfolgt nach MERCIER (1909) eine multiple Vermehrung innerhalb einer Cyste in gleicher Weise wie bei *A. minuta* als Gamogonie unter Bildung zahlreicher kleiner amöbenförmiger Gameten; die beiden miteinander kopulierenden Gameten sollen aber stets etwas verschieden groß sein (Anisogameten).

Bei den Entamöben entstehen innerhalb einer Cyste nach wiederholter Zweiteilung des Kernes stets 8 (bei *E. coli* und *muris*) bzw. 4 (bei *E. tetragena* und *ranarum*) junge Amöben und auch hier handelt es sich aller Wahrscheinlichkeit nach um eine Gamogonie. SCHAUDINN (1903) hat zwar eine wesentlich abweichende Darstellung dieser Entwicklungsvorgänge gegeben. Nach ihm soll nämlich nach der Encystierung zunächst die Befruchtung in Form einer Autogamie (Selbstbefruchtung) erfolgen. Dann erst soll die zur Entstehung der kleinen Amöben führende Vermehrung stattfinden und diese jungen Amöben sollen nach ihrem Ausschlüpfen aus der Cyste direkt zur erwachsenen vegetativen Form heranwachsen. Hiernach würde also die multiple Vermehrung innerhalb der Cyste bei den Entamöben keine Gamogonie sein wie bei *A. minuta* und *A. blattae*, sondern ein sich an die Befruchtung anschließender einmaliger Vermehrungsvorgang besonderer Form, wie er von den Coccidien als „Sporogonie“ bekannt ist (vgl. hierzu unten den Abschnitt über den Generationswechsel bei Protozoen). HARTMANN (1911, 1912) sowie HARTMANN und WITHMORE (1912) haben aber SCHAUDINNS Angaben nicht bestätigen können und vermuten, daß SCHAUDINN durch Degenerationerscheinungen irregeführt wurde und daß auch bei den Entamöben keine Autogamie vorkommt, vielmehr erst die aus der Cyste ausschlüpfenden kleinen Amöben ganz wie bei *A. blattae* und *minuta* die Gameten darstellen.

Im Anschluß hieran sei noch erwähnt, daß bei freilebenden Amöben des Süßwassers mehrfach irrige Auffassungen über die Fortpflanzung veranlaßt worden sind durch parasitische Organismen, die sich verhältnismäßig häufig in den Kernen der Amöben einnisten (vgl. hierüber z. B. DOFLEIN 1907).

In dem Entwicklungskreis der vorstehend besprochenen Amöben sind sämtliche bewegliche Stadien amöbenförmig. Bei einigen anderen Arten sind dagegen neben den typischen Amöbenformen auch flagellatenförmige Entwicklungsstadien beobachtet wor-

den, deren Zugehörigkeit zu den betreffenden Amöbenarten durch die Kernverhältnisse sichergestellt scheint.

So hat z. B. ALEXEIEFF (1912) ein flagellatenförmiges Stadium mit 2 langen Geißeln bei *A. (Vahlkampfia) limax* und *punctata* beobachtet (Fig. 94).

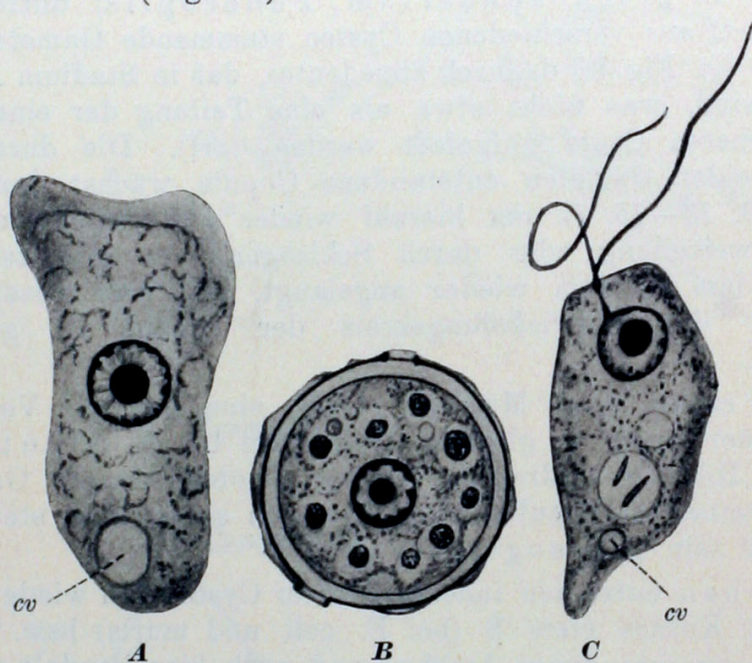


Fig. 94. *Amoeba (Vahlkampfia) punctata* DANGEARD. **A** Vegetative Amöbenform. **B** Cyste mit charakteristischen Chromatinbrocken im Plasma. **C** Zweigeißliges Stadium. *cv* Kontraktile Vakuole, in **A** kurz vor, in **C** kurz nach der Entleerung. Vergr. 1500:1. Nach ALEXEIEFF 1912.

Genauere Angaben über eine Amöbe, bei der derartige flagellatenförmige Stadien auftreten, hat vor allem SCHAUDINN (1896) für *Paramoeba eilhardi* gemacht, für die der sogenannte „Nebenkörper“, ein neben dem Kern im Plasma gelegenes, stark lichtbrechendes, kugeliges oder wurstförmiges Gebilde von selbständiger Teilungsfähigkeit charakteristisch ist (Fig. 95, A).

Vor der Encystierung stößt *Paramoeba eilhardi* die Nahrungsreste

aus, zieht die Pseudopodien ein und rundet sich ab. Dann wird zuerst eine gallertige Hülle ausgeschieden, mit der die ausgestoßenen Nahrungsreste verkleben können (Fig. 95, B–D), und darauf innerhalb dieser noch eine festere Membran. Innerhalb der so gebildeten Cyste teilt sich dann zunächst der Nebenkörper in zahlreiche Teilstücke (Fig. 95, B). Hierauf zerfällt der Kern durch mehrfache, sich rasch wiederholende Zweiteilungen, in zahlreiche kleine Tochterkerne, die sich im Plasma so verteilen, daß sich zu jedem Nebenkörper ein Kern gesellt (Fig. 95, C). Hierauf zieht sich das Protoplasma etwas von der Cystenhülle zurück und die je von einem Nebenkörper begleiteten Kerne rücken an die Oberfläche, wo sich um jeden von ihnen eine Plasmaportion sondert (Fig. 95, D). Diese Sonderung der einzelnen Plasmaportionen schreitet von der Oberfläche nach der Tiefe zu vor und schließlich wird auch das anfangs noch ungeteilt gebliebene Plasma im Zentrum der Cyste zerklüftet. Die einzelnen Teilstücke lagern sich dabei unregelmäßig durcheinander und schwärmen dann nach Sprengung der Cystenhülle als flagellatenähnliche Zellen aus, nachdem sich inzwischen an ihnen je 2 Geißeln ausgebildet haben.

Diese flagellatenförmigen Stadien kann man nicht einfach als Schwärmsporen bezeichnen (z. B. entsprechend den Schwärmsporen der Radiolarien, vgl. die nachstehende Besprechung von *Coelospathis*), da Schwärmsporen sich (meist nach vorheriger Kopulation, d. h. paarweiser Verschmelzung) direkt zu der erwachsenen Form entwickeln, ohne sich vor-

her fortzupflanzen. Bei *Paramoeba eilhardi* pflanzen sich dagegen die ausschwärmenden Geißelformen nach Flagellatenart durch Längsteilung fort. Sie stellen also eine besondere Generation dar und es besteht bei *Paramoeba eilhardi* ein Generationswechsel zwischen einer sich zuerst durch Zweiteilung, dann durch multiple Teilung fortpflanzenden Amöbengeneration und einer sich durch Längsteilung fortpflanzenden Flagellatengeneration.

Die Individuen der Flagellatengeneration (Fig. 95, *E*) sind vorn schräg abgestutzt oder etwas ausgebuchtet. Im Grunde dieser Ausbuchtung öffnet sich ein röhrenförmiger Cytopharynx und neben dem Cytostom entspringen die beiden Geißeln. Im Plasma entwickeln sich bei älteren Individuen zwei große gelbliche bis braungelbe Chromato-

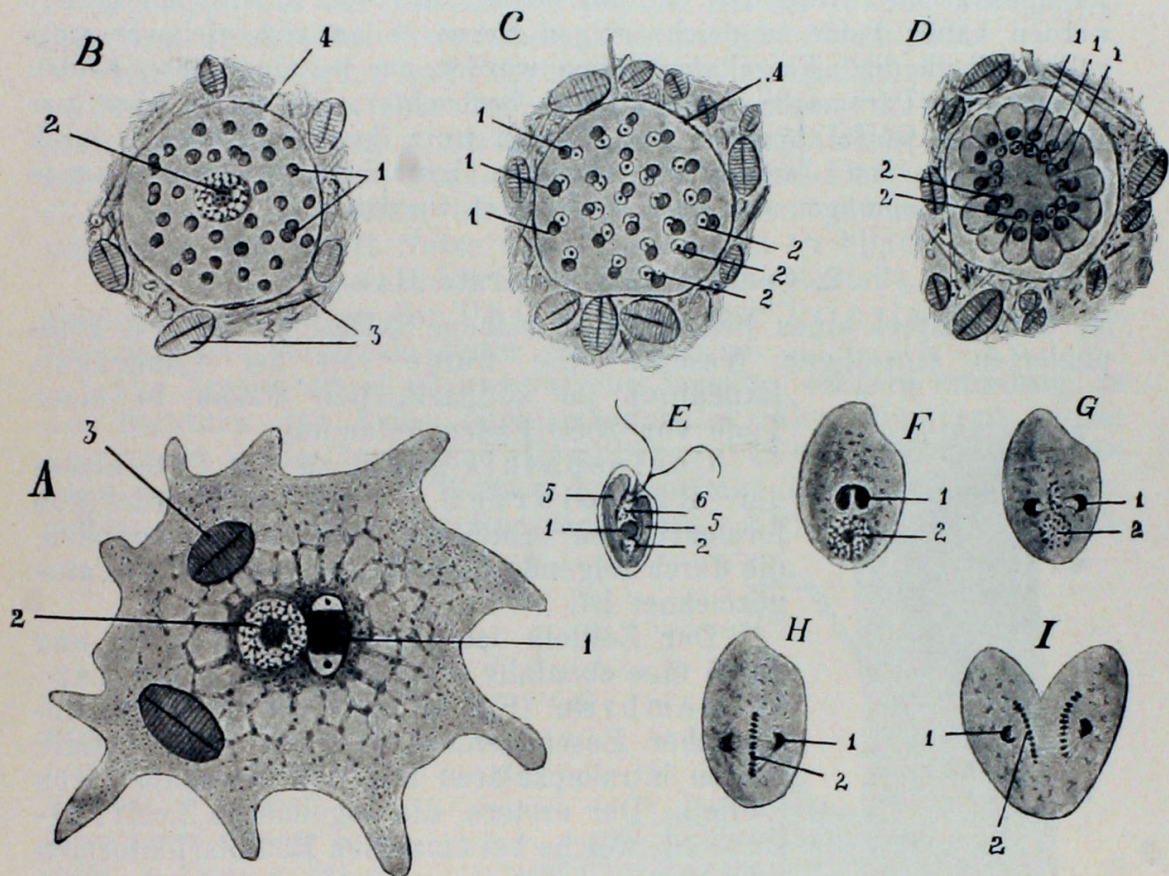


Fig. 95. **Fortpflanzung und Generationswechsel von *Paramoeba eilhardi*** SCHAUDINN. *A* Vegetative Amöbenform. *B—D* Multiple Vermehrung im encystierten Zustand. *E* Das aus der Cyste ausschöpfende flagellatenförmige Stadium. *F—I* Stadien der Längsteilung dieser Flagellatenform. 1 Nebenkörper, 2 Kern, 3 gefressene Diatomeen, 4 Cystenülle, 5 Chromatophoren, 6 Stärke. Vergr. von *A* und *F—I* ca. 1125 : 1, von *B—E* ca. 600 : 1. Nach SCHAUDINN 1896.

phoren sowie Stärkekörnchen. Die Tierchen zeigen eine außerordentliche Ähnlichkeit mit gewissen, schon lange bekannten Arten der Flagellatengattung *Cryptomonas*, der die in *Trichosphaerium* wie auch die in *Peneroplis* hausenden Zooxanthellen angehören (Fig. 17). (DOFLEIN (1911) denkt deshalb auch an die Möglichkeit, daß sie entgegen SCHAUDINNS Annahme vielleicht gar nicht in den Entwicklungskreis der *Paramoeba* gehören, sondern vielmehr eine selbständige Flagellatenart darstellen.) Bei ihrer Fortpflanzung durch Teilung (Fig. 95, *F—I*) teilt sich zunächst der Nebenkörper, indem er hantelförmig wird, sich dann

völlig durchschnürt und hierauf seine beiden Teilstücke bei der dann folgenden, sehr an eine Mitose erinnernden Teilung des Kernes eine ganz ähnliche Rolle spielen wie das Centrosoma bei der Teilung der Metazoenzellen.

Die Paramoeba-Flagellaten fallen nach SCHAUDINNS Schilderung schließlich zu Boden, indem sie ihre Geißeln und Chromatophoren rückbilden; sie runden sich ab, entwickeln Pseudopodien und haben damit wieder den Amöbenzustand erreicht. — Die Befruchtung ist bei Paramoeba bisher noch nicht bekannt.

Neuerdings hat JANICKI (1912) zwei andere Paramöben untersucht, die in der Schwanzleibeshöhle von Chätognathen schmarotzen. Hier stellt der für die Gattung charakteristische „Nebenkörper“ einen vollwertigen zweiten Kern dar, der mit einem Centrosom nicht homologisiert werden kann; beide ungleichwertigen Kerne teilen sich vielmehr stets völlig selbständig. Flagellatenstadien wurden nur bei einer dieser beiden Paramöben (*Paramoeba pigmentifera*) beobachtet; sie sollen aber nur eine einzige Geißel besitzen und werden trotz ihrer Vermehrung durch Längsteilung von JANICKI als Gameten betrachtet, da anscheinende Reifungserscheinungen am Kern beobachtet wurden.

2. *Coelospathis ancorata* HAECK.

ist ein Beispiel eines besonders in seinem Skelettbau äußerst komplizierten einzelligen Wesens. Sie wurde von der Challenger-Expedition im südpazifischen Ozean in einer Tiefe von 2550 Faden gefunden.

Coelospathis gehört zu der Unterklasse der Radiolarien, einer außerordentlich formenreichen Abteilung mariner Rhizopoden, die durch folgende Organisationsverhältnisse ausgezeichnet ist.

Der Zelleib ist ursprünglich kugelig und durch eine ebenfalls ursprünglich kugelige Kapselmembran (Fig. 96, *km*) von pseudochitin-ähnlicher Beschaffenheit in zwei Teile geteilt, in den intrakapsulären und den extrakapsulären Zelleib. Der erstere, die sogenannte Zentralkapsel, welche bei einzelnen Radiolarienformen

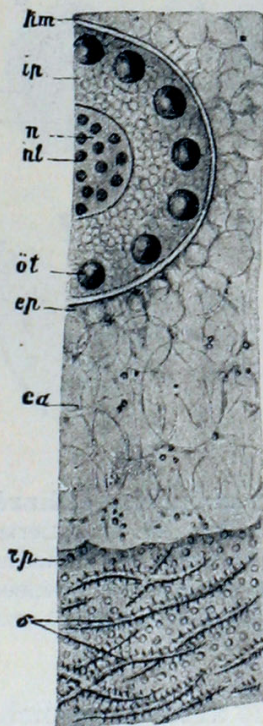


Fig. 96. *Thalassoplancta brevispicula* HAECKEL. Durchmesser 2,5 mm. Ein Ausschnitt des Körpers. *ca* alveoläres Calymma, *ep* extrakapsuläres Protoplasma (Sarcinatrix), *ip* intrakapsuläres Protoplasma, *km* Kapselmembran, *n* Kern, *nl* Kernkörperchen, *öt* Oeltropfen, *rp* Protoplasma an der Oberfläche des Calymma (Sarcodictyum), *s* Spicula. Nach HAECKEL.

normalerweise in der Zweizahl vorhanden ist, besteht aus dem intrakapsulären Protoplasma (*ip*) und dem in ihm eingeschlossenen großen bläschenförmigen Zellkern (*n*). Im Plasma können sich verschiedene Einschlüsse: Fetttröpfchen, Oeltröpfchen (*öt*), Eiweißkristalle, Vakuolen, Pigmentkörnchen, vorfinden. Pulsierende Vakuolen fehlen. Die Kapselmembran besitzt Oeffnungen, durch welche das intrakapsuläre Protoplasma mit dem extrakapsulären in Verbindung tritt.

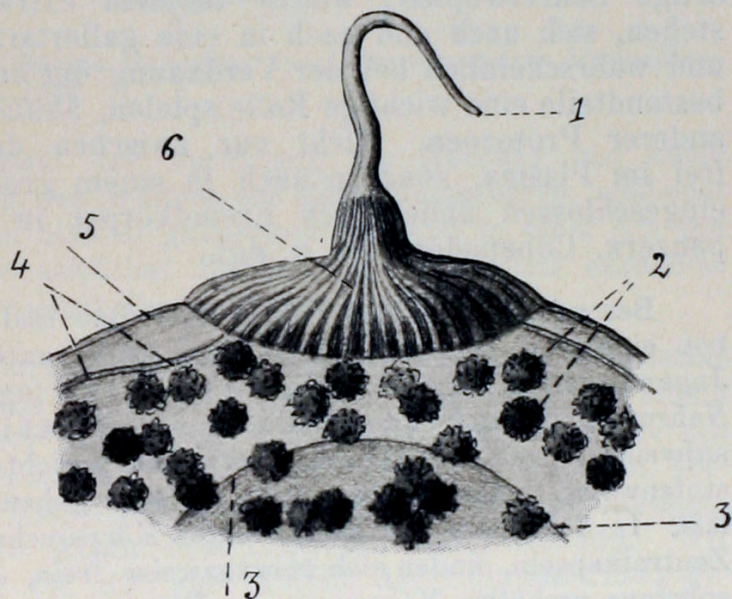
Der extrakapsuläre Teil des Zellleibes besteht von innen nach außen aus 1) einer dünnen Schicht von extrakapsulärem Protoplasma, welche der Kapselmembran außen anliegt, der Sarc-matrix (*ep*), 2) einer dicken Lage einer im Leben glashell durchsichtigen, farblosen Gallerte von meist alveolärem Bau, Calymma genannt (*ca*), 3) einer dieses Calymma umschließenden zarten Protoplasmaschicht, dem Sarcodictyum oder Oberflächenhäutchen (*rp*), das etwaige oberflächliche radiäre Skelettelemente baldachinartig überwölbt, von dem die Pseudopodien ausstrahlen und das die hauptsächlichste Bildungsstätte der wunderbar mannigfaltigen, nur bei sehr wenigen Formen fehlenden Skelette der Radiolarien ist. Das Calymma ist durchzogen von einem grobmaschigen Flechtwerk von Protoplasma, das das Oberflächenhäutchen mit der dünnen, die Kapselmembran unmittelbar bedeckenden Plasmaschicht verbindet.

Die die Bewegung und Nahrungsaufnahme vermittelnden Pseudopodien sind lange, sehr dünne Protoplasmafäden, die vom Zelleib nach allen Richtungen ausstrahlen, langsam vorgestreckt und langsam wieder zurückgezogen werden können. Sie sind klebrig und zeigen die Neigung, an Stellen, wo sie sich begegnen, miteinander zu verschmelzen und derart Netze und Anastomosen zu bilden.

Die Radiolarien werden in 4 Ordnungen eingeteilt. Coelospathis gehört zu derjenigen der Phaeodaria oder Tripyllaria und besitzt folgende Merkmale dieser Ordnung.

Die Zentralkapsel ist nicht streng kugelig, sondern einachsrig, in der Richtung der Achse leicht abgeplattet. Ihre Membran besitzt nur eine große kreisrunde Hauptöffnung (Astropyle) an dem beim lebenden, frei im Wasser schwebenden Tiere nach unten gerichteten oralen Pole der Hauptachse (vgl. Fig. 51). Diese ist ver-

Fig. 97. **Astropyle** von **Coeloplegma murrayanum** HAECKEL. Lateralansicht. 1 Oeffnung der Proboscis, 2 innerhalb der Zentralkapsel gelegene Kristalle, 3 Kern, 4 und 5 Kapselmembran (bei der Konservierung der Fläche nach gespalten), 6 Strahlendeckel oder Astropyle. Nach HAECKEL 1888.



schlossen von einer kreisrunden, für flüssige Substanzen durchlässigen osmotischen Membran mit strahlig angeordneten, nach innen vorspringenden Lamellen, dem Strahlendeckel (Operculum), aus dessen Mitte sich eine Röhre, der Rüssel (Proboscis), erhebt mit kreisrunder terminaler Oeffnung (vgl. Fig. 97). Außer dieser Hauptöffnung sind noch zwei Nebenöffnungen (Parapylen) vorhanden, je eine zu Seiten des aboralen Poles der Hauptachse (vgl.

Fig. 98). Auch diese zeigen ähnlich der Astropyle einen verhältnismäßig komplizierten Aufbau, indem ein durch eine ringförmige Verdickung der Zentralkapsel gebildeter Oeffnungshals (Fig. 98, *öh*), ein halbkugelig oder scheibenförmiger Bulbus (*b*), ein in seiner Mantelschicht fein gestreifter Oeffnungskegel (*ök*) und eine von der Verlängerung dieses Kegels gebildete rohrförmige Paraboscis (*ka*) unterschieden werden können. Die Ebene, in welcher die drei Oeffnungen

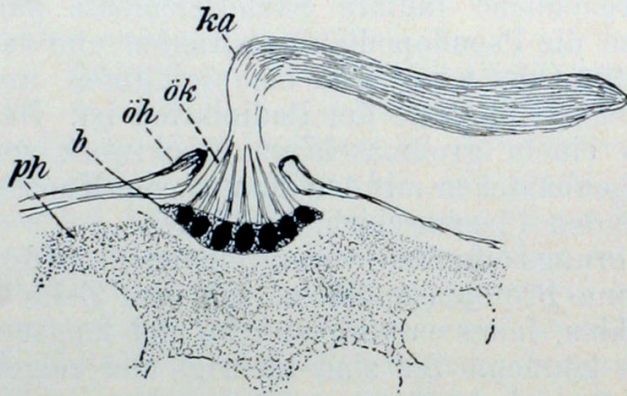


Fig. 98. **Parapyle von *Tuscaretta passeracula* HAECKER.** Frontalansicht. *b* Bulbus, *ka* Kamin, *öh* Oeffnungshof, *ök* Oeffnungskegel, *ph* Parapylenhof. Aus HAECKER 1908.

liegen, wird als Frontalebene, von HAECKER speziell bei den Cölodendriden aus weiter unten ersichtlichen Gründen als Spaltebene bezeichnet, und in dieser selben Ebene liegt auch die Paraboscis der beiden Nebenöffnungen, wenn sie, wie bei den Tuscaroriden (Fig. 98), stark verlängert und ziemlich nahe über der Kapselmembran rechtwinklig nach außen abgebogen ist (sie wird in diesem Falle von HAECKER als Kamin bezeichnet).

In einer Erweiterung der Sarcomatrix in der Umgebung der Astropyle (also exzentrisch im basalen und oralen Teile des Körpers) liegt eine Masse von dunkelgefärbten (braunen, grünen oder roten) Tropfen, Körnern oder Schollen, das Phaeodium (vgl. Fig. 51, *ph*). Die dasselbe bildenden einzelnen Phäodellen sind anscheinend schleimartige Sekrettropfen, welche in dem extrakapsulären Plasma entstehen, sich nach und nach in eine gallertartige Substanz umwandeln und wahrscheinlich bei der Verdauung der aufgenommenen Nahrungsbestandteile eine wichtige Rolle spielen, ähnlich den Nahrungsvakuolen anderer Protozoen. Nicht nur zwischen den einzelnen Phäodellen frei im Plasma, sondern auch in einem großen Teil der Phäodellen eingeschlossen finden sich Fremdkörper in Gestalt von Diatomeenpanzern, Copepodeneiern u. dgl.

Besonders lehrreiche Bilder über Bau und Funktion der Phäodellen bot eine von HAECKER (1907 und 1908) untersuchte, noch skelettlose Jugendform, *Phaeocolla valdiviae* (vgl. Fig. 99), insofern „die Nahrungsteile und Phäodellen eine regelmäßige örtliche Anordnung aufweisen, welche auf eine bestimmt gerichtete Zirkulation und eine stufenweise, während derselben vor sich gehende Umwandlung schließen läßt. In der Mitte der herzförmigen Körperscheibe, zwischen den beiden Zentralkapseln, finden sich vorzugsweise freie, d. h. nicht von Phäodellensubstanz umhüllte Nahrungsteile, Diatomeenpanzer und Diatomeensporen, vor. Gegen den oralen Rand zu sieht man die letzteren mehr und mehr von kleineren, dunkel tingierbaren Sekrettropfen eingeschlossen (Fig. 99, *a*), längs der seitlichen Scheibenränder folgen dann blässere Tropfen (*b*) und am aboralen Rande sehr große Gallertvakuolen (*c*), sowie die von anderen Autoren beschriebenen „gefalteten Membranen“ (*d*), d. h. in diesem Fall wohl ausschließlich Vakuolen, welche unter der Wirkung der Reagenzien eine künstliche Deformierung erfahren haben. (In anderen Fällen, z. B.

bei den Tuscaroren, handelt es sich bei den „gefalteten Membranen“ zum Teil um geschrumpfte Ei- und Cysten-hüllen verschiedener Organismen.) Hier ist mit Sicherheit zu erkennen, daß die aufgenommenen Nahrungsteile in den mittleren Partien des Weichkörpers von wahrscheinlich schleimartigen Sekretröpfchen umschlossen werden, und daß die so ge-

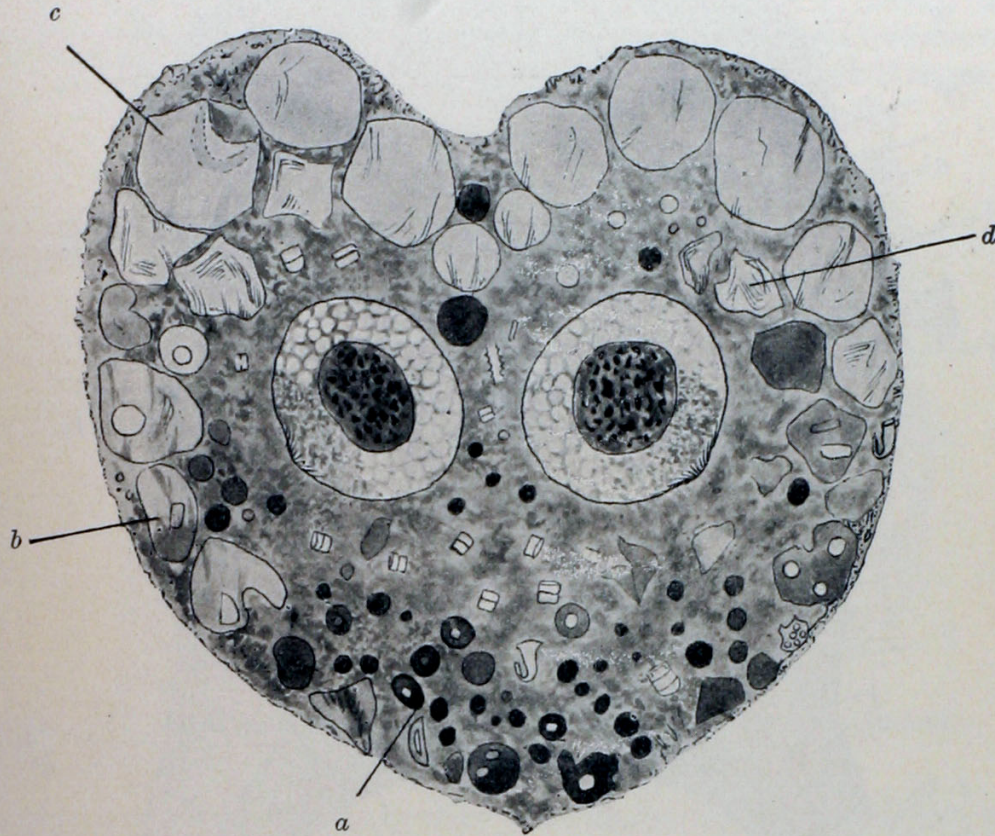


Fig. 99. **Phaeocolla valdiviae** HAECKER. *a—d* Die allmähliche Umwandlung der Phäodellen. Aus HAECKER 1908.

bildeten Phäodellen während der Verdauung der Nahrung und unter gleichzeitiger Ueberführung des Sekretes aus einem tingierbaren, vielleicht mehr schleimigen, in einen blassen gallertigen Zustand in einer Art von „Fontänenstrom“ nach den seitlichen Rändern und schließlich nach dem Hinterrande der Weichkörperscheibe befördert werden.“

Wie die große Mehrzahl der Radiolarien besitzt Coelospathis ein **Skelett**, und zwar ein sehr kompliziertes, bestehend aus einem karbonischen Silikat (einer Verbindung von organischer Substanz mit Kieselerde). Hauptsächlich nach der Beschaffenheit dieses sehr verschieden ausgebildeten Kieselskelettes werden die Unterordnungen, Familien, Gattungen und Arten der Tripyleen unterschieden. Wir wollen jetzt seinen Bau für die zur Familie der Cölodendriden gehörige Coelospathis ancorata beschreiben (vgl. Fig. 100).

Charakteristisch für die Cölodendriden ist der Einschluß der Zentralkapsel in einer dünnen zweiklappigen Gitterschale, bei der jede Klappe einen helmartigen, den Ausgangspunkt für divergierende, verzweigte Röhren bildenden Aufsatz trägt.

Jede der beiden Schalenklappen (Fig. 100, 15) ist halbkugelig. Der freie Rand der einen ist von dem der anderen durch einen überall gleich breiten, offenen Spalt getrennt, der in der Frontalebene

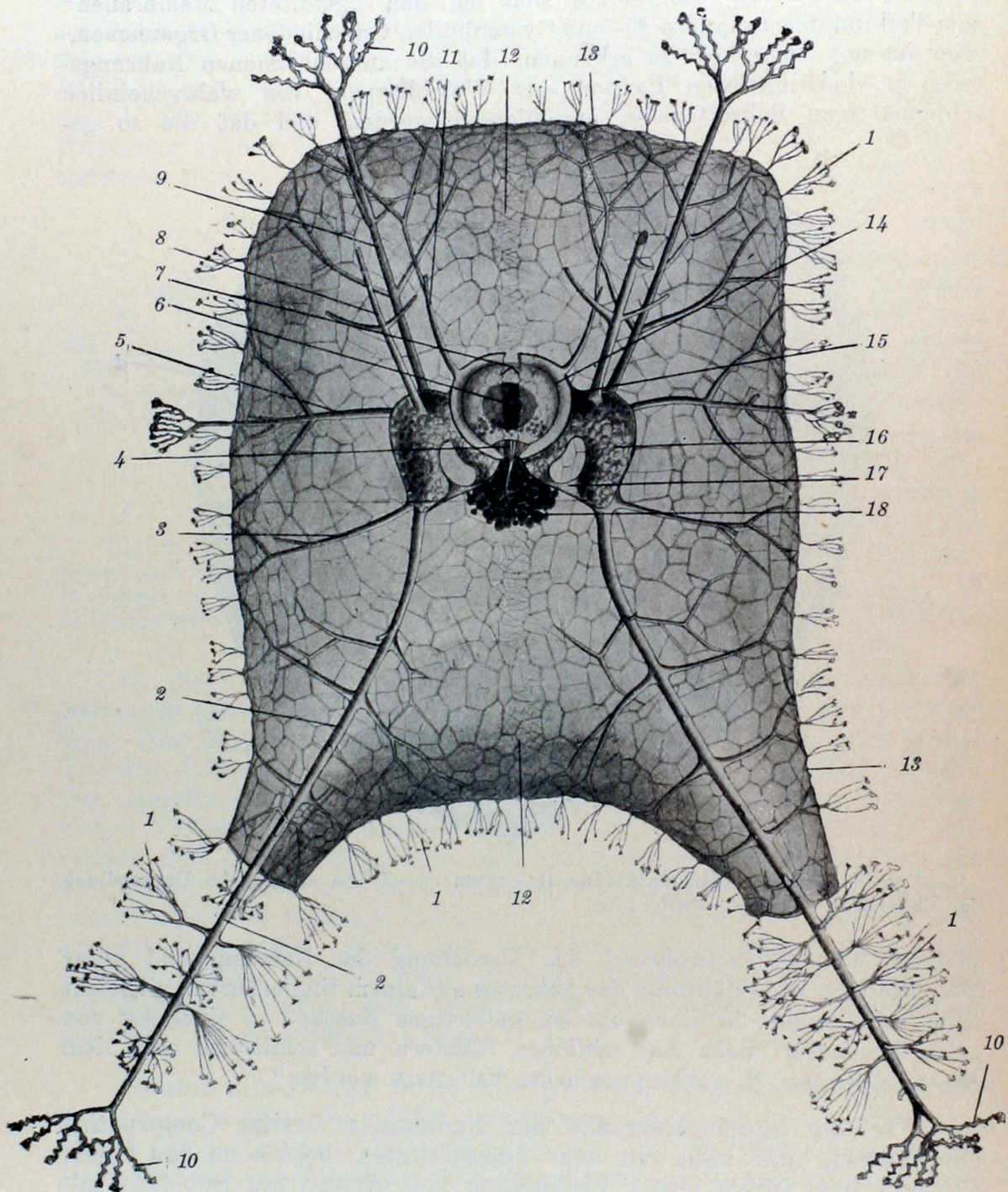


Fig. 100. **Coelospathis ancorata** HAECKEL. Lateralansicht. Die sich über die Spathillen (1) und Terminaläste (10) ausspannende Oberfläche des Weichkörpers ist nicht dargestellt. 1 Spathillen oder Ankerpinsel, 2 vordere oder orale Griffelröhre, 3 vorderer Dendrit, 4 Strahlendeckel (Operculum radiatum), die Hauptöffnung (Astropyle) der Zentralkapsel (14) verschließend, mit dem vom Phaeodium (18) umgebenen Rüssel (Proboscis), 5 äquatoriale Griffelröhre, 6 großer Kern in der Zentralkapsel, 7 Nebenöffnung (Parapyle) der Zentralkapsel, ebenso wie die Hauptöffnung in dem frontalen Spalt zwischen den beiden Klappen der inneren Gitterschale (15) gelegen, 8 eine der beiden paarigen Griffelröhren, abgebrochen, 9 die andere, intakt, 10 Terminaläste der Griffelröhren (Kränzchen), 11 hinterer Dendrit, zum Teil abgebrochen, 12 Endzweigchen am Rande der beiden Klappen des äußeren Gittermantels (13), 13 äußerer Gittermantel, der die Spathillen (1) trägt und dessen ganzer Innenraum in der Figur mit grauem Ton dargestellt ist, 14 Zentralkapsel, 15 innere zweiklappige Gitterschale, 16 Helm (Galea), 17 Frenulum, 18 der den Rüssel umgebende Teil des Phaeodiums. Nach HAECKEL 1888.

liegt, so daß die drei Oeffnungen der Zentralkapsel in ihn münden. Sie sind äußerst dünnwandig und in unregelmäßiger Weise durchlöchert.

Eine zweiklappige Schale findet sich unter den Tripyleen außer bei den Cölodendriden auch noch bei den Conchariden. Doch bildet sie hier allein das ganze Skelett und ist in Zusammenhang hiermit meist recht dickwandig. Besonderes Interesse aber verdienen diese Concharidenschalen durch ihre Schloßeinrichtungen, welche die Schloßbildungen der

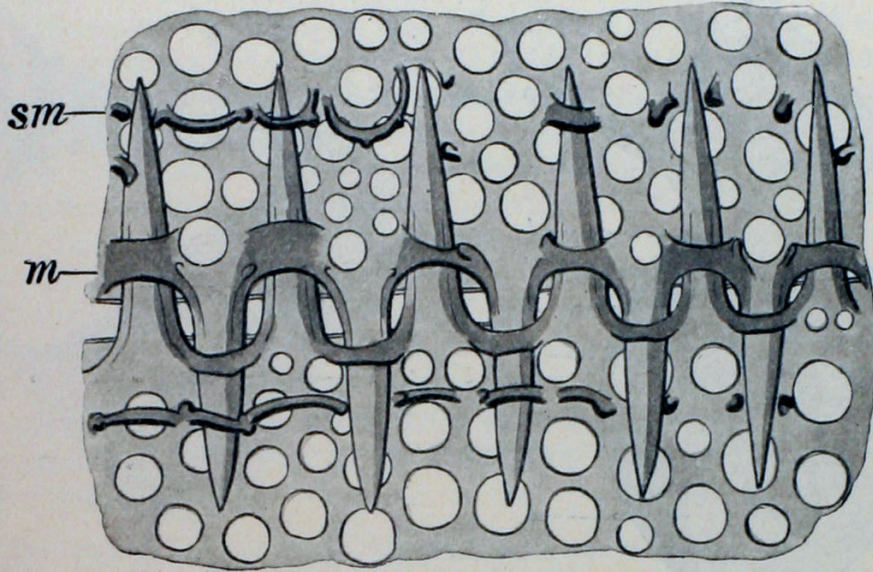


Fig. 101. **Schalenschloß von *Conchoceras caudatum* HAECKEL.** Aus HAECKER 1908.

Lamellibranchier an Kompliziertheit und Raffiniertheit bei weitem übertreffen. Die Ränder der beiden Halbschalen sind mit Zahnreihen besetzt, die wie die Finger einer gefalteten Hand ineinandergreifen, und zwar hängen die Zähne der einen Schale mit der Innenseite der anderen durch eine doppelte Führung zusammen (Fig. 101).

Jede Klappe der inneren Gitterschale von *Coelospathis* trägt auf ihrem oralen Teile einen symmetrischen, helmförmig gewölbten Aufsatz, dessen konvexer Scheitel nach dem oralen Pole gerichtet ist, den Helm (Galea) (Fig. 100, 16; Fig. 102, 6). Die beiden Helme sind an der zweiklappigen Gitterschale durchaus symmetrisch angebracht und liegen in einer die Frontal- oder Spaltebene kreuzenden Ebene, die man als Sagittal- oder Apikalebene bezeichnet.

Jeder Helm verlängert sich in apikaler Richtung zu einem Rohr, dem sogenannten Nasenrohr (Rhinocanna) (Fig. 102, 1), das an der Oberfläche der Schalenklappe bis nahe zur vorragenden Proboscis hinzieht, wo es offen ausmündet (Fig. 102, 2). Die Proboscis liegt also mitten zwischen den beiden einander zugekehrten Nasenöffnungen. Eine Kieselbrücke (Frenulum) (Fig. 100, 17; Fig. 103, 4) ist im Interesse besserer Verfestigung zwischen jeder Nasenöffnung und der Spitze der zugehörigen Galea in genau apikaler Richtung ausgespannt. Die Kieselwand der Galea und des Nasenrohres hat dieselbe Beschaffenheit wie die Schalenklappe, der sie aufgelagert ist. Der Hohlraum der Galea ist gegen den Hohlraum der inneren Gitterschale sowohl wie gegen den Hohlraum der gleich zu besprechenden radiären

Kieselröhren durch eine solide, nicht durchbrochene Kieselwand vollständig abgeschlossen. Er kommuniziert nur mit dem Extracapsulum und zwar außer durch fensterartige Durchbrechungen der Galeawandung selbst vor allem durch das Nasenrohr und die Nasenöffnung hindurch. Jede Galea nebst dem zugehörigen Nasenrohr ist erfüllt von einer Hälfte des Phaeodiums, das aber auch noch aus der Nasenöffnung hervorquellen und die Proboscis umlagern kann (Fig. 100, 18).

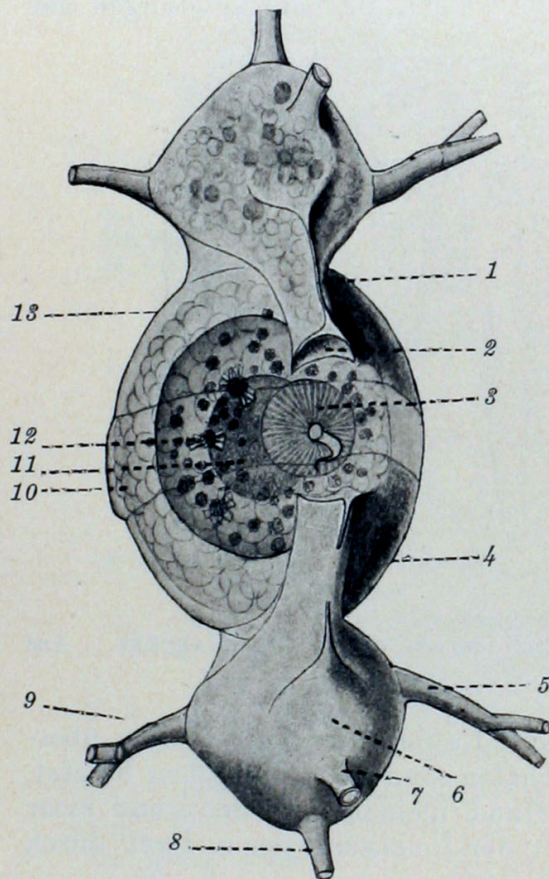


Fig. 102.

beiden paarigen Griffelröhren, 6 Helm (Galea), 7, 8 die beiden unpaaren Griffelröhren, 9 die andere paarige Griffelröhre, 10 Zentralkapsel (die Verweislinie hört etwas zu früh auf), 11 Kern, 12 intrakapsuläre Kristalle, 13 Klappe der inneren Gitterschale. Nach HAECKEL 1888.

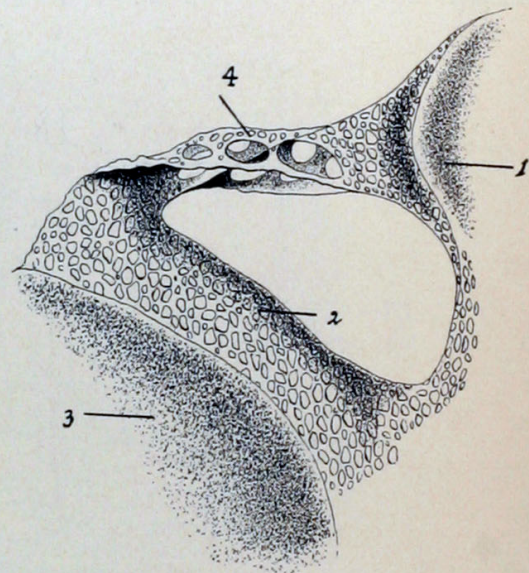


Fig. 103.

Fig. 102. **Coeloplegma murrayanum** HAECKEL. Oralansicht der inneren zweiklappigen Schale, ein wenig schräg von rechts. 1 Nasenrohr (Rhincocanna), 2 Mündung desselben, 3 Strahlendeckel (Astropyle), deren Rüssel (Proboscis) aus der frontalen Gürtelspalte zwischen den beiden Nasenrohrmündungen hervortritt, 4 zweiklappige innere Gitterschale (die Gitterung nicht dargestellt), 5 eine der

Fig. 103. **Nasenrohr und Frenulum von Coelospathis ancorata** HAECKEL. 1 Ein Stück des Helmes, 2 das zylindrische Nasenrohr (man sieht die Gitterung), 3 ein Stück der zugehörigen inneren Schalenklappe (ohne Gitterung dargestellt), 4 das durchbrochene Frenulum, welches die Mündung des Nasenrohres (links) mit der Kuppe des Helmes (rechts) verbindet. Nach HAECKEL 1888.

Die die charakteristische Gestalt der Galea bei den verschiedenen Cölodendriden im wesentlichen bedingende Hauptfunktion ist mechanischer Natur, indem die Galea als Postament dient für die sogleich zu besprechenden radiären Skeletteile. Erst sekundär ist bei einem Teile der Cölodendriden unter Ausbildung der Rhincocanna die Nebenfunktion einer Verdauungshöhle hinzugetreten, indem die sehr geräumige Galea zu einem regelmäßigen Depot für die Phäodellen wurde, während gleichzeitig die Rhincocanna eine bestimmt gerichtete Regulation des Säftestromes bedingte (HAECKER 1908).

Von den beiden Helmen, zum kleineren Teile auch von den inneren Schalenklappen direkt, strahlen in symmetrischer Anordnung und in Gestalt von hohlen, beiderseits geschlossenen, meist reich verzweigten Kieselröhren radiäre Skeletteile aus, unter denen zwei Haupttypen unterschieden werden können: 1) baumförmige, meist ziemlich regelmäßig dichotomisch verzweigte Röhren (Dendriten) (Fig. 100, 3 u. 11), deren Stamm sich in der Regel kurz oberhalb der Basis vollkommen in seine Verzweigungen auflöst und deren Endverzweigungen sämtlich in einer regelmäßig gestalteten Fläche enden und durch Anastomosenbildung einen äußeren Gittermantel bilden; 2) stark verlängerte, das allgemeine Niveau des Weichkörpers mehr oder weniger überragende „Griffelröhren“, welche in ihrem basalen Abschnitt mit dendritenartigen Seitenästen, in ihrem distalen Teil mit zierlichen, Ankerfädchen tragenden Bäumchen besetzt und an ihrem Ende mit besonderen Terminalbildungen ausgestattet sind. *Coelospathis* besitzt jederseits 4 derartige Griffelröhren, zwei unpaare, in der Apikalebene gelegene, von denen die eine oralwärts, die andere (nur $\frac{1}{3}$ so lange) äquatorial entspringt (Fig. 100, 2 und 5), und zwei paarige, die halb so lang wie die Oralgriffel sind und aboralwärts gerichtet aus der Apikalebene heraus divergieren (Fig. 100, 8 und 9). Die bisher bekannt gewordene Höchstzahl von Griffeln findet sich bei dem im nördlichen indischen Ozean gefundenen *Coelanthemum auloceroide*s HAECKER und beträgt nicht weniger als 28 (jederseits 14).

Der durch tangential verlaufende, sehr zarte Anastomosen der Dendriten gebildete äußere Gittermantel besteht aus unregelmäßigen, verschieden großen, polygonalen Maschen und ist wie die innere Gitterschale zweiklappig. Seine beiden Klappen sind ebenso orientiert wie die der inneren Gitterschale und greifen an ihren Rändern mit frei vorstehenden Endzweigchen ineinander, ohne jedoch miteinander zu verwachsen. An der Bildung des Gittermantels beteiligen sich neben den Dendriten auch die basalen dendritenähnlichen Aeste der Griffelröhren.

Die allgemeine Gestalt des äußeren Gittermantels von *Coelospathis ancorata* ist etwa keilförmig, der Keil ca. $1\frac{1}{2}$ mal länger als breit. Die aborale Basis des Keiles (in Fig. 100 nach oben gerichtet) ist quadratisch, die der Frontal- oder Spaltebene parallelen Seitenflächen sind gleichschenkelig dreieckig, die an der oralen, konkav eingebuchteten Schneide zusammenstoßenden Flächen rechteckig. Durchschneiden wir den Keil in der Transversalebene in der Richtung des Äquators der inneren Gitterschale und der Zentralkapsel, so sind die beiden Stücke, das orale und das aborale, in Form und Organisation durchaus ungleich. Durchschneiden wir den Keil in der Richtung der Frontal- oder Spaltebene, so sind die beiden Teilstücke in allen Stücken kongruent, und dasselbe ist der Fall, wenn der Körper in der Apikalebene geteilt wird.

Die Länge des äußeren Gittermantels von *Coelospathis ancorata* erreicht 2—3 mm, die Breite 1,2—2,1 mm. Die Art gehört zu den sehr großen Protozoen. Manche andere Tripyleen der Tiefsee werden freilich noch erheblich größer: so ist z. B. das ballonförmige *Sagenoarium chuni* 4—6,8 mm lang bei einem Äquatorialdurchmesser von 3—3,5 mm und die kugelige *Aulospaxis variabilis aulodendroides* hat sogar einen Durchmesser von 7—8 mm; bei *Tuscarantha luciae*

ist zwar die eigentliche Schale nur 3 mm hoch, dadurch daß sie an beiden Polen Stacheln von je 6 mm trägt, wird aber die stattliche Gesamtlänge von 15 mm erreicht und einzelne Coelodendriden erreichen einschließlich des ganzen Schwebeapparates sogar die für Protozoen riesige Größe von 20—30 mm. Auch in der Ordnung der Spumellarien finden sich auffällig große Arten, darunter die hinsichtlich der Masse des eigentlichen Weichkörpers größten aller Radiolarien (*Cycladus spinosus indicus* mit einem allseitigen Durchmesser bis zu 15 mm).

Nähere Untersuchung hat gezeigt, daß bei den Radiolarien (speziell den Tripyleen), wenigstens innerhalb engerer Gruppen, charakteristische Beziehungen zwischen der Größe der Arten und der von ihnen bewohnten Meerestiefe bestehen. Nahe der Oberfläche finden sich so gut wie ausschließlich Zwergformen, nach der Tiefe zu nimmt die Größe zu und ausgesprochene Riesenformen finden sich so gut wie ausschließlich in größeren Meerestiefen. Einige Beispiele mögen dies erläutern: Unter den Aulacanthiden ist die der Oberfläche sich am meisten (bis auf 50 m) nähernde Form, *Aulacantha scolymantha typica*, zugleich die kleinste mit einem Durchmesser von 0,5 bis höchstens 1,8 mm; in größeren Tiefen (ca. 400—1000 m) kommt aber neben ihr eine lokale Unterart, *Aul. scol. bathybia*, vor mit einem Durchmesser von 3—4 mm, und daß andere Tiefsee-Aulacanthiden noch wesentlich größere Dimensionen erreichen, lehrt die bereits angeführte *Aulospaxis* von 7—8 mm (vermutlich aus 1000—1500 m). Unter den Sagosphäriden ist die 1,2—1,5 mm messende *Sagosцена elegans* noch oberhalb des 50-m-Horizontes angetroffen, während die großen Sagenoarien den tieferen Regionen angehören. *Challengeria xiphodon*, eine der verbreitetsten und häufigsten Challengeriden aus 50—400 m Tiefe hat einen Schalendurchmesser von nur 0,09—0,13 mm und eine durchschnittliche Länge von 0,119 mm, *Challengeria bethelli* aus 400—1500 m mißt 0,18—0,25 mm im Durchmesser und 0,215 mm in der Länge, und *Challengeria naresi* aus Tiefen unter 1500 m 0,5—0,65 bzw. 0,575 mm. In diesem Zusammenhange ist es auch von Bedeutung, daß die Tuscaroriden, welche in auffälliger Weise nahezu sämtlich der gleichen Größenklasse angehören, auch sämtlich ungefähr in der gleichen Tiefenstufe (400—1000 m) vorkommen.

Wie auf die Größe ist die Meerestiefe aber auch auf die Form der Radiolarien von Einfluß. „Die mehr oberflächlichen Zwergformen neigen zur Kugelgestalt und erreichen damit auch eine Vergrößerung des Querschnittes; die großen Tiefenbewohner dagegen sind nicht an die kugelige Körperform gebunden, sondern nehmen, offenbar im Interesse eines erhöhten Steig- und Sinkvermögens, verschiedene abweichende Gestalten, so diejenige eines Ballons, einer Spindel oder einer senkrechten Scheibe an“ (HAECKER 1908).

Der äußere Gittermantel von Coelospaxis trägt auf seiner ganzen Oberfläche zerstreut zahlreiche Büschel von feinen Endästchen, die an ihrem freien Ende eine zierliche ankerähnliche Bildung tragen (Fig. 100, 1). Das sind die sogenannten Spathillen, deren physiologische Bedeutung darin zu suchen ist, daß sie das Oberflächenhäutchen (die oberflächlichste zusammenhängende Plasmaschicht des Weichkörpers) tragen und ausgespannt erhalten. Die endständige Ankerbildung dient hierbei offenbar dazu, durch Vergrößerung der

Oberfläche die Adhäsion des Oberflächenhäutchens zu steigern (HAECKER 1908). In ebensolche Spathillen laufen auch die Seitenäste aus, welche sich an dem den Gittermantel überragenden Teil der beiden oralen unpaaren Griffelröhren in quirlförmiger oder gegenständiger Anordnung finden (vgl. Fig. 100, 1). Die freien Enden aller Griffelröhren gehen bei *Coelospathis ancorata* in besondere doldenförmige Terminalbildungen („Kränzchen“) über, indem die Griffel sich durch dreimalige dichotome Teilung in 8 dünne, nahezu gleichlange, divergierende Endzweige („Finger“) spalten. Jeder dieser Finger verläuft zickzackförmig, trägt alternierend angeordnete Widerhaken und ist an seinem Ende von einem Quirl von 4—6 kleinen zurückgebogenen Zähnen gekrönt (Fig. 100, 10). Auch diese Terminalbildungen der Griffel liegen ebenso wie die Spathillen beim unverletzten Tier noch vollständig innerhalb des Weichkörpers, dessen Oberflächenhäutchen baldachinartig über die Finger ausgespannt ist.

HAECKEL war in seinen grundlegenden Radiolarien-Arbeiten noch der Ansicht, daß ein großer Teil der Skelettstrukturen nackt, ohne plasmatische Umhüllung, in das umgebende Medium vorrage, und diese Vorstellung liegt auch noch der Fig. 100 zugrunde, in der der durch grauen Ton angedeutete Weichkörper von *Coelospathis* mit der äußeren Gitterschale abschließt. Die peripheren Appendicularorgane des Skeletts, in unserem Falle die Spathillen und die Terminalbildungen der Griffel, sollten nach HAECKEL als Fangapparate dienen, indem anschwimmende Nahrungskörper an ihren Widerhaken hängen bleiben. Diese Anschauung hat sich aber inzwischen als irrig herausgestellt; sie beruhte auf unzureichender Erhaltung des vorliegenden Materiales. Die Bearbeitung der Radiolarien der deutschen Tiefseeexpedition durch HAECKER lehrt vielmehr, daß alle Skelettelemente der Radiolarien (speziell der Tripyleen mit ihren zum Teil so außerordentlich komplizierten Skeletten) durchaus innerhalb des Weichkörpers liegen.

Seiner Funktion nach ist das Radiolarienskelett in erster Linie ein Stützapparat für den plasmatischen und gallertigen Weichkörper und gleichzeitig ein Schutzapparat gegen äußere Einflüsse. Bis in seine Einzelheiten hinein ist der Bau des Skelettes in zweckmäßigster Weise seiner mechanischen Aufgabe angepaßt. Die radiären Skelettelemente dienen als Druck- und Stoßfänger; ihre Röhrenform bedingt bei möglicher Festigkeit gleichzeitig möglichste Material- und Gewichtsparsnis. Äußerer Gittermantel und innere Gitterschale bilden bei *Coelospathis* ein durch die Dendriten und Griffel als Füllung verbundenes zusammengesetztes Fachwerk, welches als Druckverteilungsapparat funktioniert, und speziell die innere Gitterschale bietet allen radiären Skelettelementen ein festes Widerlager bei gleichzeitigem Schutz der von ihr umschlossenen Zentralkapsel. Durch die Zweiklappigkeit der Gitterschale wird dabei dem Wachstum, der Teilungsfähigkeit und eventuellen periodischen Größenschwankungen in einfacher Weise Rechnung getragen.

Den Stütz- und Schutzfunktionen des Skeletts gesellt sich nun aber auch noch eine hydrostatische Funktion bei, die bereits oben bei dem Vergleich von Oberflächen- und Tiefseeformen berührt wurde. Speziell bei *Coelospathis* ist nach dieser Richtung nicht nur die Keilform des äußeren Gittermantels von Wichtigkeit; auch die

über diesen Gittermantel hinausragenden Griffelröhren haben offensichtlich die Bedeutung von Schwebearrangementen, wie solche bei anderen Radiolarien in Form von verschiedenartigen, mehr oder weniger weit vorspringenden und charakteristisch angeordneten radiären Strahlen noch klarer hervortreten.

Speziell bei dem lediglich von Radiärstacheln gebildeten Skelett der Acanthometriden ist die Bedeutung für das Schwebevermögen der Tiere schon lange bekannt (vgl. im übrigen die Besprechung des Radiolarienskeletts in dem Abschnitt über die Stützorganellen der Protozoen). Andererseits ist es aber auch nicht unwahrscheinlich, daß besonders lange Fortsätze an dem Skelett gewisser Tripyleen neben ihrer hydrostatischen Funktion sekundär auch noch eine Bedeutung für die Ernährung als Fangapparate gewonnen haben, insofern sie nämlich ihrem Träger die Möglichkeit gewähren, ein größeres Wasserquantum abzufischen. Besonders einleuchtend erscheint dies bei Formen wie *Tuscarantha luciae*, deren 3 mm hohe Schale an ihrem aboralen Pole einen und im Umkreis ihres Peristomes (d. h. der den oralen Pol einnehmenden Oeffnung der im ganzen schlank helmförmigen Schale) drei Stacheln von nicht weniger als 6 mm Länge trägt. An der dünnen, diese vier riesigen Stacheln überziehenden Protoplasmaschicht bzw. an den von dieser Plasmaschicht noch wieder ausstrahlenden Pseudopodien wird oft genug ein als Nahrung verwertbarer Fremdkörper kleben bleiben.

Ueber die **Lebensverrichtungen** eines Radiolars ist dem zur Erläuterung der morphologischen Eigentümlichkeiten bereits Mitgeteilten nur noch wenig hinzuzufügen.

1. Lokomotion. Die Radiolarien schweben, flottieren im Seewasser, indem ihr spezifisches Gewicht mit dem des umgebenden Seewassers übereinstimmt. Außer den eben erwähnten Schwebefortsätzen des Skeletts spielen dabei wohl auch die allseitig radiär ausstrahlenden Pseudopodien eine Rolle, indem sie den Reibungswiderstand vergrößern. Aktive seitliche Schwimmbewegungen vermögen die Tierchen nicht auszuführen, wohl aber vermögen sie im Wasser langsam zu steigen und zu sinken. Darauf, daß dieses Vermögen häufig durch die Form des ganzen Körpers wesentlich erleichtert wird, wurde ja oben bereits einmal hingewiesen. Da aber das Protoplasma sowohl wie das Skelett schwerer sind wie Wasser, wird zum Zwecke des Flottierens ein hydrostatischer Apparat ausgebildet in Form von Oeltropfen, die sich im Innern der Zentralkapsel finden, und in Form von extrakapsulären Flüssigkeitsvakuolen, deren Inhalt spezifisch leichter ist als Meerwasser. Die bei der Atmung gebildete Kohlensäure wird in der Vakuolenflüssigkeit gelöst und auf diese Weise deren Salzgehalt und damit auch ihr spezifisches Gewicht verringert (BRANDT 1895/97). Daneben spielt offenbar auch die Schleimhülle, das Calymma, eine Rolle, da auch sie in vielen Fällen spezifisch leichter ist als Meerwasser. Auf äußere Reize hin sinken die Radiolarien im Wasser, indem sie einen Teil ihrer Vakuolen oder alle entleeren. Nach Aufhören des Reizes steigen sie wieder unter Neubildung von Vakuolen empor.

2. Die Nahrungsaufnahme erfolgt durch die Pseudopodien. Nahrungspartikel bleiben an diesen kleben, werden von ihnen umflossen und dem extrakapsulären Plasma zugeführt. Die Rolle, die die Phäodellen der Tripyleen bei der Verdauung spielen, ist bereits

auf S. 76f. besprochen. Bei den anderen Radiolarien wird den (den Tripyleen fehlenden) „gelben Zellen“ oder Zooxanthellen (Fig. 258, α) eine besondere Bedeutung für die Ernährung zugeschrieben, einzelligen Algen bzw. Flagellaten, die gewöhnlich in größerer Zahl im Radiolarienkörper vorkommen. Bei den Acantharia liegen sie im Inneren der Zentralkapsel, bei den Spumellaria und Nassellaria im extrakapsulären Weichkörper. Sie sollen unter Verwendung der vom Radiolar ausgeschiedenen Kohlensäure Stärke produzieren, die dann von dem Tier als Nahrung benutzt wird.

Außer durch ihre Lage unterscheiden sich die „gelben Zellen“ der Acantharia einerseits, der Spumellaria und Nassellaria andererseits auch noch dadurch, daß die letzteren bei Behandlung mit Schwefelsäure blasser (sehr hellgelblich oder grünlich) werden und eine derbe Membran besitzen, während die „gelben Zellen“ der Acanthometriden bei Behandlung mit Schwefelsäure spangrün werden und eine Membran nicht erkennen lassen. Unter Berücksichtigung weiterer cytologischer Details, auf die hier nicht eingegangen werden kann, sind nun MOROFF und STIASNY (1909) zu der Auffassung gelangt, daß die „gelben Zellen“ der Acantharia entgegen der herrschenden Ansicht, aber anscheinend auch im Gegensatz zu den echten Zooxanthellen der anderen Radiolarien, nicht symbiontische Algen, sondern Teile des Radiolars selbst (und zwar trophische Kerne) sind.]

Außer bei den Radiolarien finden sich Zooxanthellen auch bei anderen marinen Sarcodinen in weiter Verbreitung, namentlich bei Foraminiferen. Am besten bekannt sind diejenigen von *Trichosphaerium sieboldi* und *Peneroplis pertusus*, die beide zu der Gattung *Cryptomonas* gehören (vgl. Fig. 17).

Exkretion und Atmung geschehen osmotisch an der gesamten Oberfläche des Weichkörpers.

Die **Fortpflanzung** der Radiolarien ist im Vergleich zu der mancher anderen Protozoen erst verhältnismäßig unvollkommen bekannt. Wohl sind, vor allem von BRANDT (1885, 1890, 1902 und 1905) und BORGERT (1900 und 1909), eine ganze Reihe verschiedener Entwicklungsphasen zum Teil recht eingehend geschildert worden. Trotzdem ist es bisher noch nicht möglich, ein einheitlich abgeschlossenes Bild von der Lebensgeschichte eines Radiolars in Form eines „Zeugungskreises“ aus den bisher bekannt gewordenen Bruchstücken eines solchen zusammenzusetzen. Verhältnismäßig am besten sind wir dank der schönen Untersuchungen BORGERTS über die Fortpflanzung von *Aulacantha scolymantha* unterrichtet, die gleich *Coelospathis* zu den Tripyleen gehört und bei der beobachtet wurde:

1. Vegetative Zweiteilung mit mitotischer Kernvermehrung. Das Chromatin des großen Kernes, welches im Ruhezustand ein den Kernraum durchsetzendes grobspongiöses Gerüst mit einer dichteren zentralen Masse darstellt, ordnet sich zu zahlreichen (anscheinend weit über 1000) verschieden langen, etwas geschlängelten Fäden, die, an die Chromosomen der Metazoen erinnernd, unter gleichzeitiger Auflösung der Kernmembran eine Aequatorialplatte bilden, sich der Länge nach spalten und auf 2 (zeitweise in ihrer Form infolge starker Krümmung an Gastrulae erinnernde) Tochterplatten verteilen und schließlich wieder zur Bildung abgeschlossener

Tochterkerne zusammentreten (Fig. 104 und 105). Der Teilung des Kernes folgt die Zweiteilung der Zentralkapsel und dieser die des ganzen Radiolars.

Die riesige Zahl der anscheinenden Chromosomen („Sekundärkerne“ HARTMANNs, vgl. den Abschnitt über den Kern der Protozoen) ist auch bei anderen Arten wiedergefunden. HÄCKER gibt für das ebenfalls zu

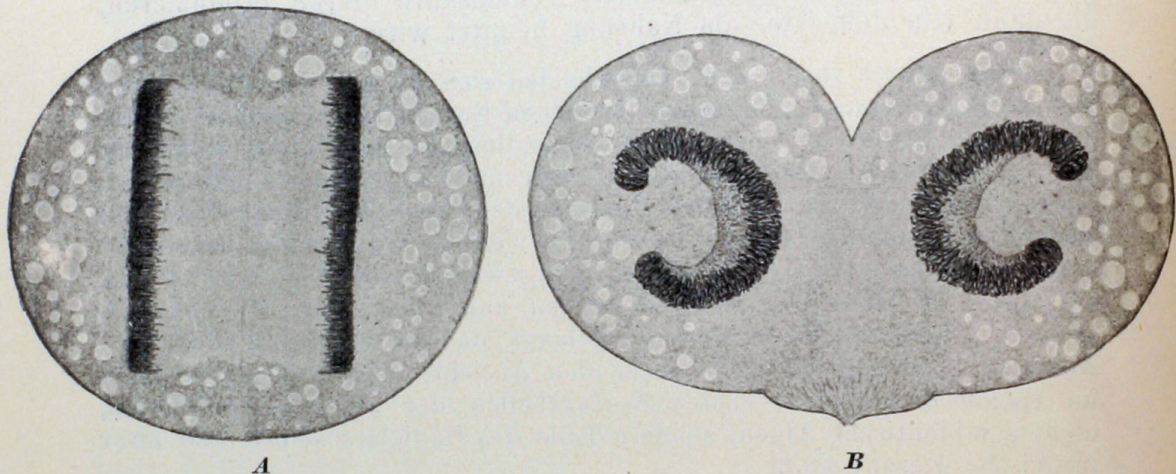


Fig. 104. **Zentralkapsel von *Aulacantha scolymantha* in Teilung.** *A* In der Mitte der Zentralkapsel die auseinander weichenden Tochterplatten des Kernes. *B* Die beiden Kernhälften beginnen die neuen Kerne zu rekonstruieren, die Zentralkapsel hat sich in transversaler Richtung in die Länge gestreckt und an der aboralen Fläche eingeschnürt, die Astropyle noch ungeteilt. Vergr. 300:1. Nach BORGERT (1901) aus GURWITSCH (1904).

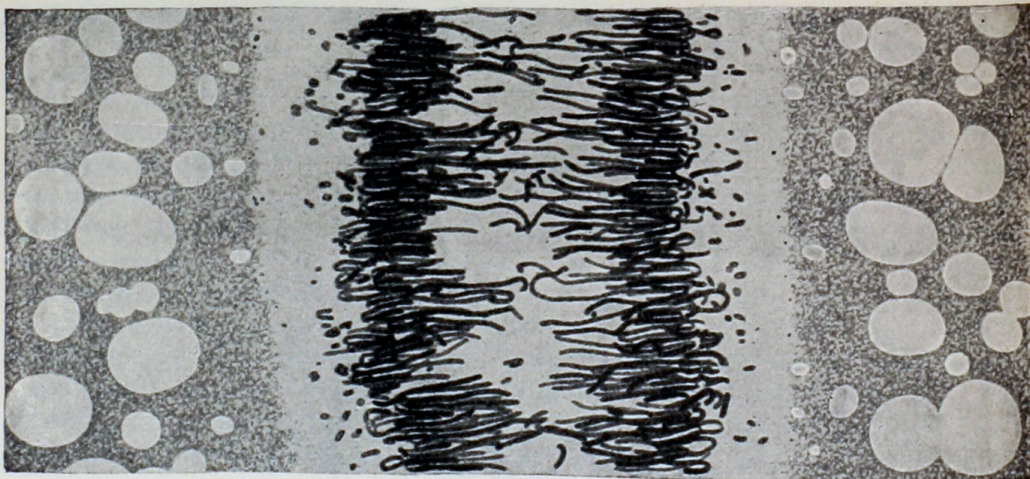


Fig. 105. ***Aulacantha scolymantha*.** Schnitt durch den zentralen Teil der Zentralkapsel mit einem Teil der in Teilung begriffenen Äquatorialplatte mit den bandförmigen Chromosomen (bzw. Sekundärkernen nach HARTMANN). Vergr. 900:1. Nach BORGERT 1901 aus GURWITSCH 1904.

den Tripyleen gehörige *Castanidium variabile*¹⁾ die Chromosomenzahl des Kernes auf 1500—1600 an. In den Tochterkernen scheint diese sich noch zu verdoppeln, da nach Beobachtungen von BORGERT

1) Bei *Castanidium* sind 2 Zentralkapseln vorhanden, die sich synchron teilen.

(1900) bei *Aulacantha* und von SCHMIDT (1908) bei *Castanidium* der 1. Spaltung der Chromosomen, die zur Bildung der Tochterplatten führt, noch eine 2. Längsspaltung innerhalb jeder Tochterplatte folgt, deren Bedeutung bisher unklar ist (vgl. aber hierzu unten unter 2).

Bei der Teilung der Zentralkapsel wird die Astropyle geteilt (wie Fig. 104 zeigt, erst verhältnismäßig spät). Von den beiden Parapylen erhält jede Tochterkapsel eine; die zweite Parapyle der Tochterkapseln entsteht durch Neubildung, und zwar meist schon vor der Teilung.

Die Teilung des Skelettes ist bei *Aulacantha* verhältnismäßig einfach, da dieses aus nicht zusammenhängenden radiären Elementen besteht, die einfach auf die beiden Tochtertiere verteilt werden. Bei den zweisehaligen Tripyleen (jedenfalls bei den Conchariden, vermutlich auch bei den Cölodendriden) erhält jedes Tochtertier eine der beiden Schalenklappen, um die andere neu zu bilden. Bei denjenigen Tripyleen dagegen, deren Skelett ein festes zusammenhängendes Gerüst oder eine einheitliche Schale bildet (z. B. Challengeriden), wird dieses bei der Teilung nicht mit zerlegt, vielmehr wandert der eine der beiden Sprößlinge aus der Hauptöffnung des mütterlichen Skelettes aus, um dann ein neues zu bilden. Bei den Tuscaroriden soll die Vermehrung durch Teilung nach HAECKER (1904) zur Entstehung von Kolonien führen, in denen je 8 Einzeltiere durch eine gemeinsame Gitterschale zusammengehalten werden; doch bedürfen diese Vorgänge noch näherer Aufklärung.

Bei *Aulacantha* kommen noch zwei eigenartige Modifikationen der indirekten Kernteilung vor, die „Zweiteilung mit Kernfurchung“ und die „Zweiteilung unter Bildung der Manschettenform des Kernes“. Hinsichtlich beider muß hier auf BORGERT (1909) verwiesen werden, zumal wenigstens die erstere kein normaler Entwicklungsvorgang zu sein scheint.

2. Vegetative Zweiteilung mit direkter Kernvermehrung. Einfache Durchschnürung des Kernes mit folgender Durchschnürung von Zentralkapsel und ganzem Tier.

Hierbei muß, da die ganze Masse des ruhenden Kernes einfach in 2 gleiche Portionen zerlegt wird, offenbar auch eine Halbierung der Chromosomenzahl erfolgen und in Rücksicht hierauf, wie auf das angeführte Verhalten der Chromosomen bei der mitotischen Kernteilung ist es von Interesse, daß sich bei *Aulacantha* in der Regel im sofortigen Anschluß an die direkte Halbierung der Kern zur nächsten auf mitotischem Wege erfolgenden Teilung vorbereitet. Durch diesen Wechsel beider Teilungsweisen wird offenbar eine Regulation erzielt und die Chromosomenzahl zwar nicht absolut, aber doch annähernd konstant erhalten werden.

3. Reproduktive Fortpflanzung unter Bildung zahlreicher Makro- und Mikrogameten. Der Kern löst sich auf und zerfällt in eine Unmenge sehr kleiner, im intrakapsulären Plasma zerstreuter Kerngebilde (Fig. 106). Hierauf erfolgt auch eine Auflösung der Zentralkapsel, statt deren man dann in dem Weichkörper des Radiolars eine größere Anzahl kernhaltiger Protoplasmaaballen findet; gleichzeitig entledigt sich das Tier auch des Phaeodiums als eines unnütz gewordenen Ballastes. Die spätere Entwicklung folgt bei verschiedenen Individuen zwei verschiedenen Wegen. In dem

einen Falle ist die Zahl der Kerne in den Protoplasmaaballen außerordentlich groß, das Plasma der Ballen daher verhältnismäßig spärlich, dabei aber sehr dicht und fein strukturiert; auch ist jeder der Kerne

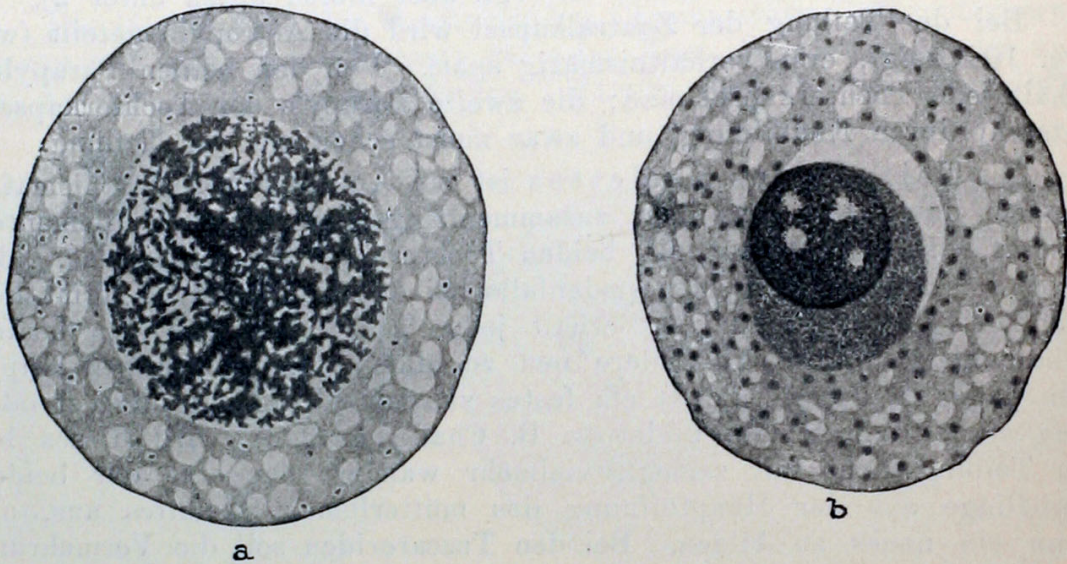


Fig. 106. *Aulacantha scolymantha*. Auflösung des Kernes und Zerfall desselben in zahlreiche, sehr kleine Kerne, die sich im ganzen (hier allein gezeichneten) intrakapsulären Plasma verteilen. Vergr. 300:1. Nach BORGERT 1909 aus HARTMANN 1911.

durch den Einschluß von ein paar kleinen Proteinkristalloiden ausgezeichnet (Fig. 107, a). In dem anderen Falle ist die Zahl der Kerne trotz etwas erheblicherer Größe des ganzen Ballens geringer,

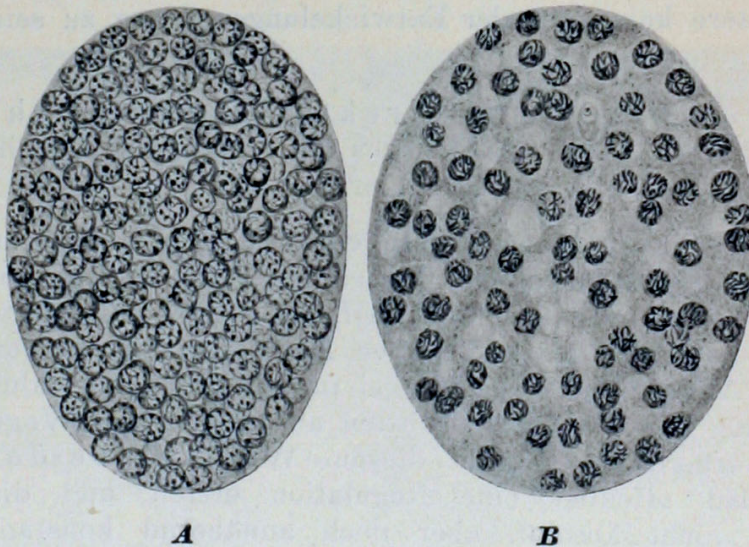


Fig. 107. **Gametenbildung von *Aulacantha scolymantha*.** Schnitte durch einzelne Ballen, die nach Zerfall der Zentralkapsel den Hohlraum des Skelettes in größerer Zahl erfüllen, und zwar *A* von einem Mikrogameten bildenden, *B* von einem Makrogameten bildenden Radiolar. Vergr. 720:1. Nach BORGERT 1909.

das demzufolge reichlichere Protoplasma auch verhältnismäßig grob strukturiert, mit zahlreichen größeren und kleineren Vakuolen; Kristalloide fehlen (Fig. 107, b).

Das weitere Schicksal dieser Protoplasmaaballen ist bei *Aulacantha* noch nicht verfolgt. Es kann aber keinem Zweifel unterliegen, daß aus den beiderlei Arten dieser Ballen die sexuell dimorphen Gameten (männliche Mikro- und weibliche Makrogameten) hervorgehen, die dann paarweise miteinander kopulieren. Wahrscheinlich sinkt *Aulacantha* bei der Gametenbildung infolge Zerfalls des hydrostatischen Apparates in

größere Meerestiefen hinab, in denen dann das Ausschwärmen der Gameten erfolgt. Direkt beobachtet ist dieses Verhalten von BRANDT (1905) bei der multiplen Vermehrung von *Thalassicolla*.

Soweit über andere Tripyleen Angaben vorliegen, gestatten diese die Vermutung, daß die Fortpflanzung ähnlich verläuft wie bei *Aulacantha*, wenngleich alle 3 Vermehrungsweisen bisher nur noch bei *Castanidium* wirklich sicher festgestellt sind. Im übrigen haben wir vor allem noch Kenntnis von der Fortpflanzung der Collodarien (*Thalassicolla*, *Thalassophysa*) und *Polycyttarien* (*Collozoum*, *Sphaerouzoum*). Hier erfolgt die Gametenbildung, wie bereits eben angedeutet, ähnlich wie bei *Aulacantha*. Vegetative Vermehrung findet aber nicht nur durch Zweiteilung statt, sondern auch auf multiplem Wege (wenngleich mit etwas anderem Verlauf der feineren Kernteilungsvorgänge wie bei der Gametenbildung) durch Bildung zahlreicher, gleich den Gameten mit 2 Geißeln versehener, aber unter sich durchweg gleich gestalteter

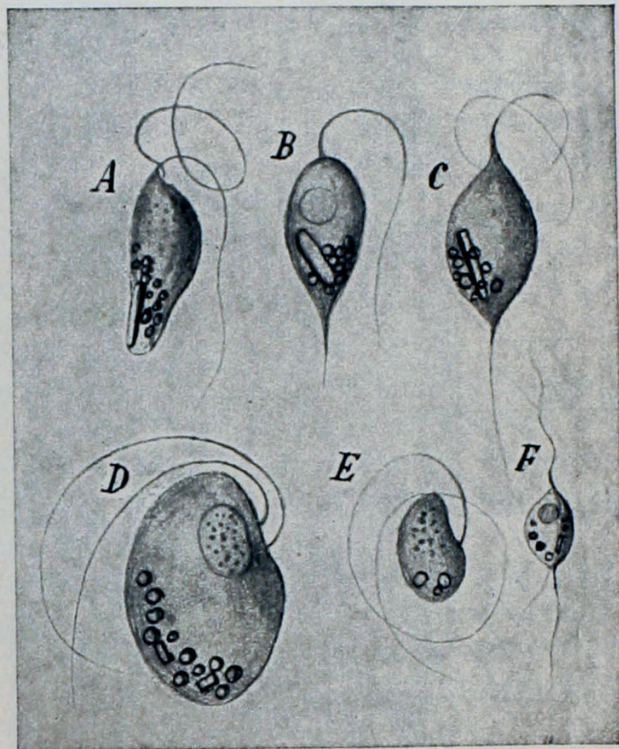


Fig. 108. **Gameten und Isosporen verschiedener Radiolarien.** Vergr. 2000 : 1. Nach BRANDT 1885. *A* Isospore von *Collozoum fulvum* BRANDT. *B* Isospore (?) von *Myxosphaera coerulea* HAECKEL. *C* Isospore (?) von *Siphonosphaera tenera* BRANDT (hinten ein fadenförmiger unbeweglicher Fortsatz). *D* und *E* Gameten von *Collozoum innerme* MÜLL., und zwar *D* Makrogamet, *E* Mikrogamet. *F* Isospore (?) von *Xipha-cantha alata*.

Fortpflanzungskörper („Isosporen“, Fig. 108 *A*). Die Zweiteilung kann bei Collodarien zu vorübergehenden „polycystinen“ Zuständen führen, bei denen mehrere Zentralkapseln von einem zunächst noch ungeteilt bleibenden gemeinsamen Gallertmantel umschlossen sind, und führt bei den *Polycyttarien* auf gleichem Wege zur Entstehung von großen, zahlreiche Einzelindividuen enthaltenden Kolonien.

3. Paramaecium

ist ein anders geartetes Beispiel eines sehr komplizierten einzelligen Tieres aus der Gruppe der Wimperinfusorien (Ciliata). Während bei den Radiolarien die physiologische Differenzierung des Weichkörpers hinter der ganz wunderbare Grade erreichenden morphologischen Komplikation des Skelettes weit zurückbleibt, gehen bei den Infusorien physiologische und morphologische Differenzierung Hand in Hand. Innerhalb der ganzen Klasse der Infusorien aber bietet *Paramaecium* noch verhältnismäßig einfache Verhältnisse.

Paramaecium caudatum (Fig. 109) ist ein zartes, durchsichtiges Tierchen von 0,1—0,3 mm Länge. Seine Form ist länglich,

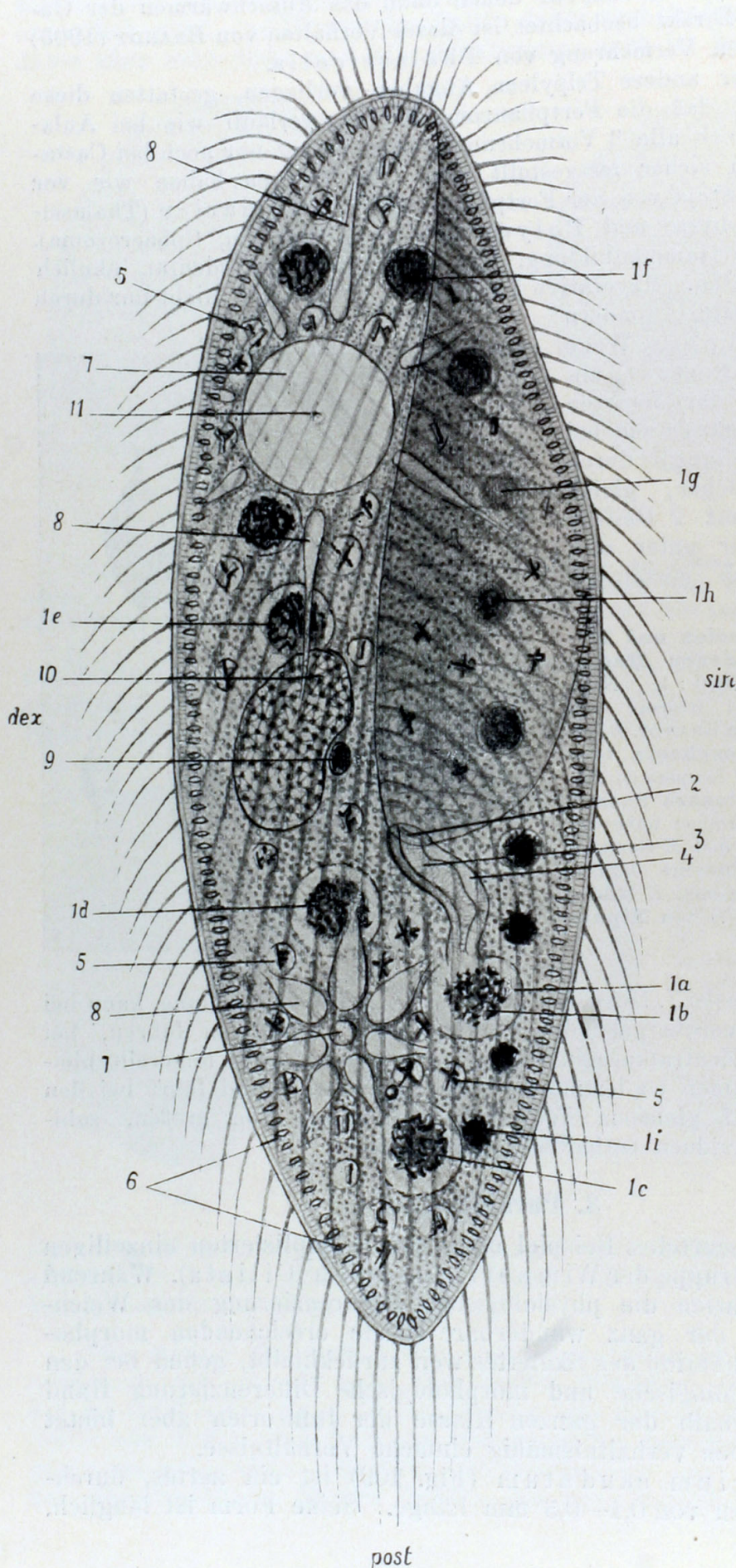


Fig. 109. **Paramecium caudatum** EHRBG. Von LANG kombinierte Figur. Ventralansicht. Zu äußerster die cilien-tragende Pellicula, darunter die Alveolarschicht und darunter im Corticalplasma die Trichocystenschicht.

ant = vorn, dex = rechts, post = hinten, sin = links. 1 aufgenommene Nahrung (Bakterien), 1a soeben am Grunde des Cytopharynx gebildete Nahrungsvakuole, 1b von derselben umschlossener, durch den Cytopharynx eingestrudelter Bakterienhaufen, 1c, 1d, 1e, 1f in Cyclose begriffene Nahrungsvakuolen, 1g, 1h zu Kotvakuolen gewordene Nahrungsvakuolen dorsal vom Peristom, 1i Exkrementballen dicht vor dem After, 2 Peristom, 3 undulierende Membran im Cytopharynx, 4 Cytopharynx, 5 Exkretkristalle in beson-

deren Vakuolen, 6 Trichocysten, 7 pulsierende Vakuolen, eine vorn, eine hinten, die vordere kurz vor ihrer Entleerung, die hintere bald nach ihrem Wiederauftreten, 8 Bildungskern (Mikronucleus), 9 Kleinkern (Mikronucleus), 10 Großkern (Makronucleus), 11 verdünnte Stelle der Pellicula, an der die Entleerung der pulsierenden Vakuole erfolgt.

Wiederauftreten, 8 Bildungskern (Mikronucleus), 9 Kleinkern (Mikronucleus), 10 Großkern (Makronucleus), 11 verdünnte Stelle der Pellicula, an der die Entleerung der pulsierenden Vakuole erfolgt.

Wiederauftreten, 8 Bildungskern (Mikronucleus), 9 Kleinkern (Mikronucleus), 10 Großkern (Makronucleus), 11 verdünnte Stelle der Pellicula, an der die Entleerung der pulsierenden Vakuole erfolgt.

spindelförmig, doch in charakteristischer Weise asymmetrisch. Man kann an dem Körper ein Vorn und ein Hinten, eine Dorsal- und eine Ventralfläche, eine linke und eine rechte Hälfte unterscheiden. Die beiden letzteren sind einander nicht spiegelbildlich gleich, was die Asymmetrie, die Abweichung von der bilateral-symmetrischen Grundform bedingt. Das Vorderende ist abgerundet, gleichzeitig aber etwas nach links abgeschrägt. Das Hinterende läuft ziemlich spitz abgerundet aus. Auf der Bauchfläche erstreckt sich von der vorn links gelegenen Abschrägung des Körperrandes aus eine Einsenkung, das „Peristomfeld“, die halbe Körperbreite einnehmend nach hinten bis zum „Zellenmund“ (Cytostom) (2), der annähernd in der ventralen Medianlinie etwas hinter der Mitte der Körperlänge liegt und an den sich ein in das Innere des Zelleibes hineinführendes, S-förmig gebogenes, nach hinten ziehendes Kanälchen, der „Zellenschlund“ (Cytopharynx) (4), anschließt. Ein „Zellenafter“ (Cytopyge) findet sich halbwegs zwischen Cytostom und Hinterende. Am Anfang des 2. und 4. Körperviertels liegt die Entleerungsstelle je einer pulsierenden Vakuole (7 bzw. 11).

Das nachstehend mehrfach zum Vergleich herangezogene *P. aurelia* unterscheidet sich von dem typischen *P. caudatum* vor allem durch geringere Größe und den Besitz zweier Kleinkerne.

Das Protoplasma von Paramecium zeigt wie bei allen Wimperinfusorien eine Differenzierung in ein oberflächliches Ektoplasma und ein inneres Endoplasma. Das Ektoplasma selbst läßt bei vielen Infusorien wieder 3 Schichten unterscheiden: Pellicula, Alveolarschicht und Corticalschicht.

1. Die Pellicula ist ein den Körper allseitig überziehendes, dünnes, aber verhältnismäßig derbes, in geringem Grade dehnbares und nach Aufhören der dehnenden Wirkung wieder in die ursprüngliche Form zurückkehrendes Plasmahäutchen, welches sich bei Einwirkung gewisser Reagentien vom Körper abhebt. Durch Druck läßt sich das verhältnismäßig dünnflüssige Endoplasma aus der berstenden Pellicula herausquetschen. Dem Besitze der Pellicula verdanken die Infusorien ihre bestimmte Eigengestalt, zu der der Körper nach etwaigen Kontraktionen immer wieder zurückkehrt.

Die Oberfläche der Pellicula zeigt bei Paramecium eine sehr charakteristische Skulptur. Sie wird nämlich durch vorspringende Leisten in kleine, regelmäßig aneinander gereihete Feldchen zerlegt, welche an verschiedenen Körperstellen eine etwas verschiedene Form haben. Größtenteils sind sie sechseckig (vgl. Fig. 110), doch können zwei einander parallele Seiten der Sechsecke sich mehr oder weniger verkürzen. Besonders

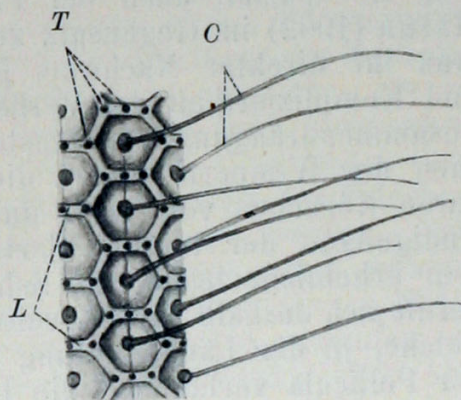


Fig. 110. **Paramecium caudatum.** Ein kleiner Teil der dorsalen Körperoberfläche. *C* Wimpern, *L* leistenartige Vorsprünge, die sechseckige Grübchen umgrenzen, *T* Trichocysten. Vergr. 2250 : 1. Nach SCHUBERG 1905, nach KHAISKY 1911 etwas verändert.

groß wird diese Verkürzung nach dem Peristomfelde zu, und in

diesem selbst gehen die Sechsecke durch völligen Schwund zweier gegenüberliegenden Seiten in Rhomben über.

Diese Felderung ist so fein, daß sie nur bei stärkster Vergrößerung deutlich erkennbar ist. Bei schwächeren Vergrößerungen äußert sie sich in einer charakteristischen Streifung der Pellicula, deren Richtung den (längeren) Seiten der Sechsecke bzw. Rhomben entspricht. Auf der Bauchfläche treten, abgesehen vom Peristomfeld, am deutlichsten Streifen hervor, die von links-vorn nach rechts-hinten ziehen; etwas schwächere Streifen kreuzen die vorigen nahezu rechtwinklig von rechts-vorn nach links-hinten, wobei sie jedoch mit der Längsachse des Tieres einen etwas größeren Winkel bilden als die vorgenannten. Auf dem Peristomfelde verlaufen die stärkeren Streifen, von hinten kommend, im Bogen nach rechts zum rechten Peristomrande, um an diesem im Winkel in die Hauptstreifen der rechten Hälfte der Bauchfläche überzugehen; das schwächere Streifensystem ist auf dem Peristomfeld nahezu transversal gerichtet. Auf der Dorsalfäche ziehen die stärkeren Streifen vom vorderen zum hinteren Körperende in der Richtung von vorn-rechts nach hinten-links. Die stärker hervortretenden Streifen verlaufen also im allgemeinen an dem spindelförmigen Körper in rechtsgewundenen gestreckten Schraubenlinien.

In der Mitte jedes der grubenartig vertieften Feldchen entspringt eine Wimper, auf deren feineren Bau, Insertion und Wirksamkeit unten zurückzukommen ist.

2. Als Alveolarschicht wird bei den Infusorien eine sehr dünne, unter der Pellicula gelegene Plasmaschicht bezeichnet, die auf dem optischen Querschnitt eine feine, senkrecht zur Oberfläche stehende Strichelung erkennen läßt als optischen Ausdruck einer äußerst feinen, einschichtigen Wabenstruktur.

In diese bei anderen Infusorien mit Sicherheit nachgewiesene Schicht können außer den „Basalkörperchen“, von denen aus die Wimpern entspringen, auch noch besondere Fibrillen eingelagert sein. Daß sie speziell auch bei *Paramaecium* ausgebildet sei, wird von MAIER (1902) im Gegensatz zu anderen Angaben bestritten. Indessen muß ihr direkter Nachweis infolge der außerordentlichen Kleinheit und Kompliziertheit der Verhältnisse gerade bei *Paramaecium* (dichte Zusammendrängung von Leistenbildungen der Pellicula, Basalkörperchen der Wimpern, neben diesen vorhandenen, mit Neutralrot färbbaren Körnchen von noch unaufgeklärter Bedeutung und peripheren Endigungen der in der Corticalschicht gelegenen Trichocysten) auf sehr erhebliche technische Schwierigkeiten stoßen. SCHUBERG (1905) beruft sich deshalb zum Beweise für ihr Vorhandensein auf Fibrillen, welche, in der Längsrichtung der hintereinander gelegenen Feldchen der Pellicula verlaufend, die Basalkörperchen der in diesen Feldchen entspringenden Wimpern miteinander verbinden und ebenso wie diese Basalkörperchen unmittelbar unter der Pellicula gelegen und daher nur als fibrilläre Differenzierungen innerhalb einer Alveolarschicht verständlich sind (vgl. Fig. 110). Nach KHAINSKY (1911) färbt sich bei mit Brom vorbehandelten *Paramäcien* eine der Alveolarschicht entsprechende dünne Schicht unter der Pellicula viel intensiver als das übrige Ektoplasma.

3. Unter der Alveolarschicht, von ihr scharf abgegrenzt, liegt eine dünne Schicht hyalinen Plasmas, das sich vom Endoplasma durch

dichtere, von Einschlüssen freie Struktur und eine dadurch bedingte etwas größere Festigkeit unterscheidet. Nahrungskörperchen treten niemals in dieses Corticalplasma ein, das der Sitz eigentümlicher, als Trichocysten bezeichneter Gebilde ist. Dies sind mehr oder weniger spindelförmige, hyaline, farblose Gebilde, die offenbar aus einer plasmaartigen Substanz bestehen, jedoch stärker lichtbrechend sind als das umgebende Protoplasma. Mit Eisenhämatoxylin färben sie sich gleich den Wimpern und ihren Basalkörperchen intensiv schwarz (vgl. Fig. 111). Bei Paramecium sind sie verhältnismäßig dick, eiförmig; von ihrem breiteren, der Oberfläche des Tieres zugewendeten Pole geht noch ein scharf abgesetzter, stabförmiger Fortsatz aus, der bis in die Pellicula eindringt. Sie sind außerordentlich zahlreich und finden sich, senkrecht zur Oberfläche gestellt, in

Fig. 111. **Paramecium caudatum.** Längsschnitt durch den Cytopharynx. *Bl* Basallamelle der undulierenden Membran, *Bs* Basalsaum derselben (aus einer Reihe von Basalkörperchen bestehend), *En* Endoplasma, *Ma* Großkern, *Mb* undulierende Membran, *Mu* Cytostom, *N* Nahrungsvakuole mit aufgenommenen Bakterien, *Ne* in Entstehung begriffene Nahrungsvakuole am Grunde des Cytopharynx, *S* Cytopharynx, *T* Trichocyste. Nach MAIER 1903.

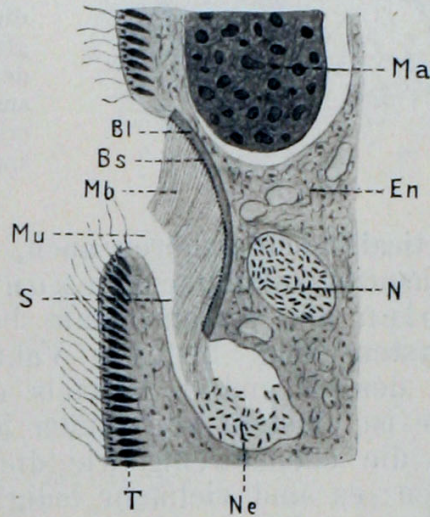


Fig. 111.

Fig. 112. **Ausgeschleuderte Trichocyste von Paramecium caudatum.** Vergr. 2250 : 1. Nach SCHUBERG 1905.



Fig. 112.

einer einschichtigen, gleichmäßig über den ganzen Körper ausgebreiteten Lage (Fig. 109, 6). Ihre Verteilung ist bei Paramecium insofern eine streng gesetzmäßige, als ihre stäbchenförmigen Fortsätze sich stets in den Leisten der Pelliculafeldchen inserieren, nie im Inneren dieser Feldchen, und zwar findet sich nach SCHUBERG (1904) und KHAISKY (1911) je eine Trichocyste 1) an jeder Ecke dieser Feldchen und 2) außerdem an denjenigen Seiten der Feldchen, die von den Fibrillen der Alveolarschicht gekreuzt werden, dicht neben diesen Fibrillen (vgl. Fig. 110). Auf Druck- und gewisse chemische Reize werden diese Trichocysten plötzlich zu langen Fäden ausgeschnellt, die an dem einen Ende in eine Spitze auslaufen, an dem anderen eine charakteristische kopfartige Bildung (Fig. 112) tragen, die nach KHAISKY (1911) durch Aufquellung des stabförmigen Fortsatzes der noch in natürlicher Lage befindlichen Trichocysten entsteht. Die Explosion der Trichocysten, die bei Paramecium mit einer völligen Herausschleuderung derselben aus dem Körper verbunden ist, stellt offenbar eine Abwehrreaktion dar (Fig. 113).

Von einer feineren, die Explosion der Trichocysten verständlich machenden Struktur ist nichts Sicheres bekannt. VERWORN faßt die ausgeschnellten Fäden, die bei manchen Infusorien (z. B. Lionotus) mit ihrem einen Ende im Körper stecken bleiben, als einen durch Kon-

traktion der äußersten Körperschicht hervorgepreßten, bei Berührung mit Wasser sofort erstarrenden Flüssigkeitsstrahl auf. Nach den Beobach-

tungen von KHAINSKY (1911) entstehen sie aber sicherlich durch Aufquellung der hervorgepreßten Trichocysten selbst, deren Aus-schnellung durch eine lokale Kon-traktion der Pellicula infolge ein-seitiger äußerer Reizung bewirkt werden dürfte.

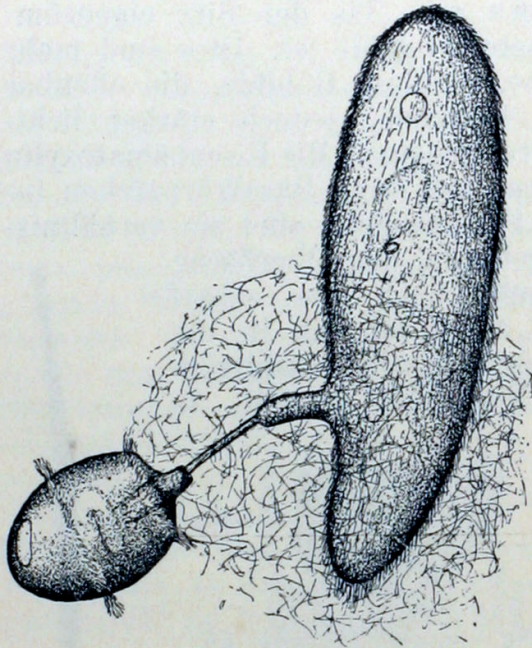


Fig. 113. **Paramecium cauda-tum**, unmittelbar nach dem Angriff durch ein *Didinium nasutum*. Die Trichocysten sind entladen, und hierbei ist das Di-dinium mechanisch zurückgedrängt unter gleichzeitiger Vorzerrung eines Fortsatzes des Parameciums an der Stelle, wo das aus dem Cytopharynx vorgestreckte Fang-organ des Didinium (vgl. Fig. 293) sich angeheftet hatte. Nach MAST 1908.

Der Corticalschicht gehören auch, wenigstens noch teilweise, die fast allen Infusorien zukommenden kontraktilen oder pulsierenden Vakuolen an. *Paramecium* besitzt zwei unmittelbar unter der Trichocystenschicht liegende Vakuolen an der Grenze des 1. und 2. bzw. des 3. und 4. Viertels der Körperlänge (Fig. 109, 7). Jede Vakuole ist umstellt von einem Kranze von 7—10 zuführenden Kanälen (8), die ebensowenig wie die Vakuolen selbst eine eigene Wand besitzen; es sind vielmehr lediglich Flüssigkeitsansammlungen im Corticalplasma. Die zuführenden Kanäle verlaufen geradlinig in radiär-strahlenförmiger Anordnung durch die ganze zugehörige Körper-hälfte, hierbei nach der Peripherie des Strahlensystems immer enger und feiner werdend.

Gegen Ende der Diastole der kontraktilen Vakuole, d. h. wenn der sie bildende Flüssigkeitstropfen groß wird, sind auch die zu-führenden Kanäle immer deutlich zu erkennen. Sie stehen aber mit ihr nicht in Kommunikation (vgl. Fig. 114). Immer mehr fließt die Flüssigkeit in den Kanälen eines Systems zentralwärts, so daß deren zentrale Enden zu sogenannten Bildungsvakuolen anschwellen, während ihr übriger entleerter Teil schließlich nicht mehr zu erkennen ist. Die angeschwollene pulsierende Vakuole ist jetzt von 7 bis 10 Bildungsvakuolen dicht umlagert. Nun erfolgt die Systole, d. h. die plötzliche Entleerung der pulsierenden Vakuole. Gleich darauf treten die Bildungsvakuolen an die Stelle der verschwundenen Haupt-vakuole, indem sie durch Zusammenfließen eine neue bilden, in deren Umkreis wieder neue zuführende Kanäle, ganz genau an der Stelle der alten, sichtbar werden. Die Pulsationen der beiden Vakuolen von *Paramecium* erfolgen in der Regel alternierend (vgl. Fig. 109).

Man nahm bisher fast stets an, daß bei *Paramecium* und anderen Infusorien ein besonderer Exkretionsporus vorhanden sei. KHAINSKY (1911) hat jedoch den Nachweis erbracht, daß *Paramecium* einen solchen prä-formierten Porus ebensowenig besitzt wie die Amöbe. Sein Vorhanden-

sein wird bei der Untersuchung lebender Tiere vorgetäuscht durch eine grubige Einsenkung der nicht unterbrochenen Pellicula über der Mitte der pulsierenden Vakuole (Fig. 109, 11). Diese Einsenkung ist zunächst trichterförmig (Fig. 115, A) und geht während des Anfanges der Diastole in die Form eines kurzen engen Kanales mit dichtem Boden über

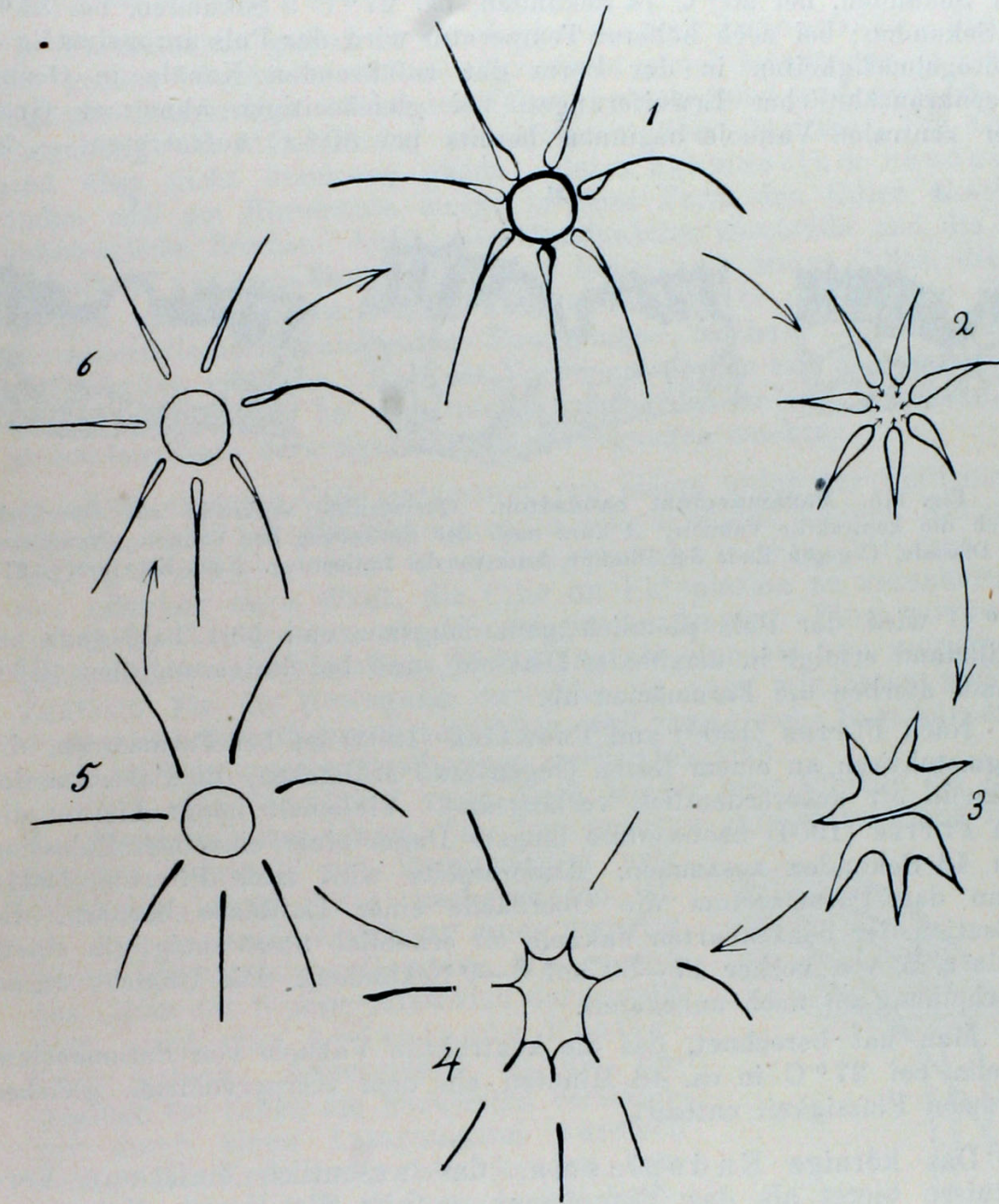


Fig. 114. **Paramecium caudatum**. Pulsation der kontraktilen Vakuole. 1 Unmittelbar vor der Entleerung. 2 Unmittelbar nach derselben; die Bildungskanäle beginnen in der Richtung der Pfeile zusammenzurücken. 3 Die Bildungskanäle sind teilweise zusammengefloßen. 4 Dieses Zusammenfließen ist beendet; neue zuführende Kanäle beginnen aufzutreten. 5 Die neugebildete Vakuole hat sich abgerundet. 6 Die zentralen Enden der zuführenden Kanäle beginnen zu neuen Bildungskanälen anzuschwellen. Aus PÜTTER 1904.

(Fig. 115, B); bei stärkerer Füllung der Vakuole gleicht sie sich jedoch aus, und am Ende der Diastole findet sich statt ihrer sogar umgekehrt eine durch den steigenden Vakuolendruck bedingte Vorwölbung der dünnen, die Vakuole von der Außenwelt trennenden Ektoplasmaschicht

(Fig. 115, C). Steigt der Druck noch mehr an, so berstet offenbar diese Deckschicht, die Vakuole entleert sich, und das Ektoplasma stürzt zusammen, um von neuem die trichterförmige Einsenkung zu bilden.

Die Frequenz der Pulsationen der kontraktile Vakuole steigt mit zunehmender Temperatur. Die einzelne Pulsation dauert bei 16° C 21 Sekunden, bei 20° C 14 Sekunden, bei 27° C 9 Sekunden, bei 34° C 6 Sekunden; bei noch höherer Temperatur wird der Puls unregelmäßig — Unregelmäßigkeiten in der Form der zuführenden Kanäle in Gestalt rosenkranzähnlicher Erweiterungen bei gleichzeitiger abnormer Größe der zentralen Vakuole beginnen bereits bei 30° C aufzutreten —, bei

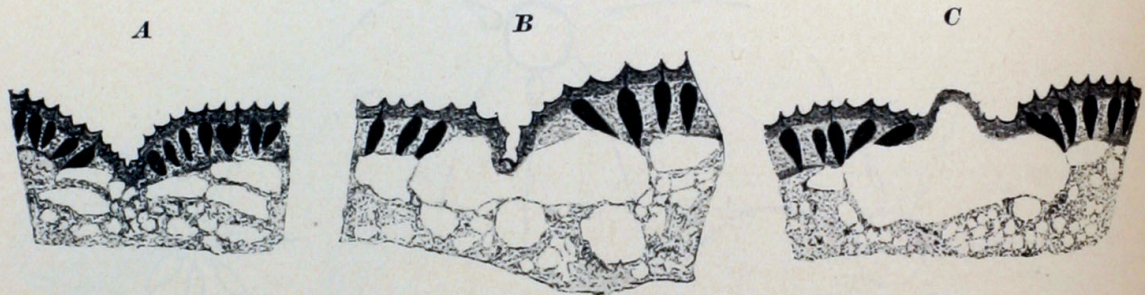


Fig. 115. *Paramaecium caudatum*. Querschnitte senkrecht zur Oberfläche durch die kontraktile Vakuole, A kurz nach der Entleerung der Vakuole, B während der Diastole, C gegen Ende der Diastole, kurz vor der Entleerung. Nach KHAINSKY 1911.

37° C wird der Puls plötzlich ganz langsam und hört bald ganz auf (Stillstand erfolgt in maximaler Diastole), und bei Steigerung über 40° C hinaus sterben die Paramäcien ab.

Nach PÜTTER (1900) und PROWAZEK (1901) ist bei Paramäcien, die thigmotaktisch an einem festen Gegenstand stillstehen, die Pulsation der Vakuole oft außerordentlich verlangsamt. Vielleicht hängt hiermit die von PÜTTER (1904) beobachtete längste Dauer einer einzelnen Pulsation von 43 Sekunden zusammen. Andererseits wird nach PÜTTER (1904), wenn das *Paramaecium* die Oberfläche einer Luftblase berührt, die Pulsation der benachbarten Vakuole oft erheblich beschleunigt (in einem Falle z. B. von vorher 17—30 auf 8—9 Sekunden). Die Ursache dieser Erscheinung ist noch unbekannt.

Man hat berechnet, daß die kontraktile Vakuole von *Paramaecium aurelia* bei 27° C in ca. 46 Minuten ein dem Körpervolumen gleiches Volumen Flüssigkeit entleert.

Das körnige Endoplasma, das wesentlich einfachere Verhältnisse bietet als das Ektoplasma, enthält die Kerne, Nahrungsvakuolen und Exkretkörner.

Kerne. Wie fast alle Infusorien hat *Paramaecium* 2 verschiedene Kerne, einen Großkern oder Makronucleus und einen Kleinkern oder Mikronucleus. Der Großkern ist ellipsoidisch, mit sehr dichter Struktur; er gehört zu dem Typus der „massigen Kerne“. Seine Oberfläche zeigt an einer Stelle, meist an einer Längsseite, eine kleine grubige Vertiefung mit meist scharfen Rändern, in der der kleine runde Mikronucleus liegt, von der Wandung des Grübchens nur durch eine sehr dünne Plasmaschicht getrennt. Der Kleinkern läßt nur bei sehr sorgfältiger Färbung den körnigen Charakter des sehr dicht zusammengedrängten Chromatins erkennen.

Die Bewegung wie auch die Nahrungsaufnahme von Paramecium wird vermittelt durch die für die Wimperinfusorien charakteristischen Wimpern oder Cilien, kurze und überaus dünne, haarähnlich nach außen vorragende Protoplasmafortsätze, die rasch schwingende Bewegungen in nahezu einer Ebene ausführen, im übrigen aber im Gegensatz zu den Pseudopodien nicht formveränderlich sind.

Paramecium gehört zu den holotrichen Infusorien, die auf der ganzen Oberfläche mit im allgemeinen gleich langen und in gleichmäßigen Längsreihen stehenden Cilien bedeckt sind und auch in der Umgebung der Mundöffnung nur einfache Cilien besitzen. Die Cilien sind aber nicht durchweg gleich. Bei *Paramecium caudatum* finden sich am Hinterende einige in ihrer Form den Cilien ähnelnde unbewegliche Borsten, denen man Tastfunktion zuschreibt und die man deshalb „Tastborsten“ nennt, und ferner noch einige Cilien, die die übrigen an Länge übertreffen, aber nicht die für die übrigen Cilien charakteristischen schlagenden Bewegungen machen, sondern stetig geißelähnlich vibrieren. Auch am Vorderende finden sich ähnliche längere Cilien, die ebenfalls bei dem infolge Ruhens der anderen Wimpern stillstehenden Tiere derartige vibratile Bewegungen machen.

Jede einzelne Cilie entspringt von einem unter der Pellicula gelegenen, sich mit Eisenhämatoxylin schwärzenden kleinen Körnchen, dem Basalkorn oder Basalkörperchen (Fig. 110 und 111), das offenbar dazu dient, die Cilie im Ektoplasma zu verankern, ihr bei ihren Bewegungen als Widerlager zu dienen. Eine weitere ihm gelegentlich zugeschriebene Bedeutung als eine Art von motorischem Zentrum für die Bewegung der Cilie ist zum mindesten nicht erwiesen und deshalb unwahrscheinlich, weil ganz gleiche Basalkörperchen auch bei den starren Tastborsten vorhanden sind.

Von dem Basalkorn zieht noch wieder eine Fibrille ins Innere des Plasmakörpers hinein, die, von anderen Infusorien schon länger bekannt, speziell bei Paramecium erst durch KHAISKY (1911) nachgewiesen ist.

Die dauernde Erhaltung eines derartig feinen fadenförmigen Gebildes, wie es von den Cilien der Wimperinfusorien dargestellt wird, setzt eine bedeutende Festigkeit voraus. Andererseits ist die Bewegung der Cilien am leichtesten verständlich durch einen Antagonismus zwischen einem die Krümmung bewirkenden kontraktilen Bestandteil und einem bei Nachlaß der Kontraktion die Wiederaufrichtung bewirkenden elastischen Bestandteil; der letztere wäre dann gleichzeitig das feste, formbestimmende Element der Cilie. Mit Hilfe der LÖFFLERSchen Geißelfärbung und der GOLGISchen Methode wies nun SCHUBERG (1905) bei Paramecium und anderen Infusorien nach, daß die Cilien in der Tat morphologisch nicht ganz einheitlich sind, vielmehr läßt sich ein schwächer färbbares „Endstück“ von dem dunkel gefärbten übrigen Teil der Wimper scharf abgrenzen (Fig. 116).

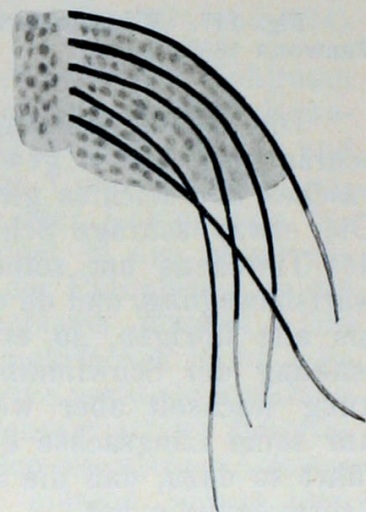


Fig. 116. *Stentor coeruleus*. Ein Stückchen der Körperoberfläche. Vergr. 2250 : 1. Nach SCHUBERG 1905.

Auf Grund eines Vergleiches mit dem Bau der Schwanzgeißel der Spermatozoen, sowie der Geißeln der Flagellaten und der Axopodien der Heliozoen (vgl. hierüber den Abschnitt über Bewegungsorganellen) deutet SCHUBERG diese Beobachtung dahin, daß das Endstück das nackt hervorragende Ende eines elastischen Achsenfadens darstellt, der bis auf dieses Endstück von einem dünnen flüssigen Plasmamantel umhüllt ist.

Ueber die Anzahl der Cilien gehen die Ansichten der Forscher weit auseinander. EHRENBURG schätzte dieselbe bei dem (von *Par. caudatum* durch den Besitz zweier Kleinkerne sowie durch etwas geringere Größe unterschiedenen) *Par. aurelia* auf 2640, SCHUMANN auf 10000 bis 14000, MAUPAS bei ca. 0,04 mm großen Exemplaren ($\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{5}$ der Maximalgröße) auf 350. BÜTSCHLI hält die letzte Zahl für viel zu niedrig und glaubt, daß wohl EHRENBURG'S Schätzung ziemlich zuverlässig sei.

Die Bewegungen der Wimpern erfolgen in einem bestimmten zeitlichen Zusammenhange, derart, daß das ganze sich bewegende Wimperkleid an ein vom Winde bewegtes Getreidefeld erinnert. Die Bewegungswellen, durch abwechselndes, in genau gleichem Rhythmus erfolgendes Schlagen und Sich-wieder-aufrichten der Wimpern hervorgerufen, durchlaufen das Wimperfeld in der Längsrichtung, wobei alle Wimpern einer Querreihe vollständig synchron tätig sind. Innerhalb jeder Längsreihe erfolgt die Bewegung dagegen metachron. Auf den Schlag der ersten Wimper folgt der der zweiten, dann der der dritten usw.; jede Wimper beginnt ihre Bewegung sofort, nachdem die vorhergehende die ihrige begonnen und noch lange bevor sie sie beendet hat (Fig. 117).

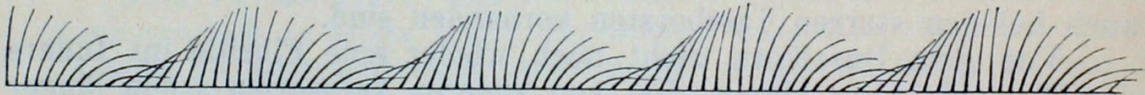


Fig. 117. **Flimmerbewegung einer Wimperreihe** in Seitenansicht. Nach VERWORN 1897.

Die Schlagrichtung der Cilien ist für gewöhnlich ein wenig schräg nach hinten gewandt und bedingt die Lokomotion, die ein rasches und leichtes gleichmäßiges Gleiten durch das Wasser darstellt. Die etwas schräge Schlagrichtung veranlaßt eine dauernde Drehung des Tierchens um seine Längsachse bei der freischwimmenden Vorwärtsbewegung, und da die Cilien des Peristomfeldes kräftiger schlagen als alle übrigen, so erfolgt gleichzeitig eine dauernde seitliche Ablenkung der Schwimmbahn nach der aboralen Seite. Diese Ablenkung wechselt aber wegen der gleichzeitigen Drehung des Körpers um seine Längsachse ebenso dauernd ihre Richtung im Wasser und führt so dazu, daß die Schwimmbahn die Form einer langgestreckten Schraubenlinie hat.

Die Rotation um die Längsachse, die wir nicht nur bei allen freischwimmenden Protozoen, sondern z. B. auch bei den Rotatorien finden, ist offenbar von wesentlicher Bedeutung für die Innehaltung der geraden Richtung in der Achse der Schraubenlinie.

Durch Wechsel von Richtung und Kraft des Wimperschlages kann die Bewegung der Paramäcien mannigfache Modifikationen erleiden:

die Tierchen können stillstehen, rückwärts schwimmen u. dgl. Näheres über diese durchweg zweckmäßigen Erscheinungen folgt bei Besprechung der Reizbarkeit auf S. 103 f.

Ernährung. Paramecium ist auf die Aufnahme kleinster Nahrungskörperchen angewiesen. Seine gewöhnliche Nahrung besteht aus Fäulnisbakterien, für Stoffwechselversuche können Dotteraufschwemmungen u. dgl. benutzt werden. *P. caudatum* ist die gemeinste Infusorienart in fauligem Wasser, tritt stets in Aquarien mit faulenden organischen Substanzen auf und findet sich im Freien im Verein mit *P. putrinum* vornehmlich und dann meist in ungeheurer Zahl an der Oberfläche im Wasser liegender faulender Tierleichen. Die Bakterien oder ähnliche kleine Partikelchen werden durch die Cilienbewegung des Peristomfeldes dem Munde zugeführt und in den Schlund hineingetrieben.

Die oralen Wimpern rufen nämlich einen Wasserstrom hervor, der äußerst rasch an dem Peristomfelde entlang zum Munde hinführt. Durch ihn werden nicht nur Bakterien mitgerissen; es wird auch allgemein, „wenn vor dem Tiere ein Stoff im Wasser diffundiert, oder wenn das Wasser wärmer oder kälter ist oder sich auf irgendeine andere Weise unterscheidet, eine Probe von dieser veränderten Umgebungsflüssigkeit kegelförmig rückwärts gezogen und infolge des stärkeren Schlages der oralen Wimpern in einer Strömung an dem Peristomfelde hinab zum Munde geführt. Dies kann man am besten beobachten, wenn man in die Nähe des vorderen Endes eines ruhenden Paramecium mittels einer kapillaren Pipette etwas Farblösung, wie Methylenblau, bringt oder wenn man in derselben Weise Wasser mit Tusche verwendet.“ „Auf diese Weise erhält Paramecium beständig Proben des vor ihm befindlichen Wassers, und da sich seine Spitze infolge der schraubenförmigen Bewegung nacheinander nach verschiedenen Richtungen kehrt, so kommen auch die Wasserproben, die es erhält, nacheinander aus vielen verschiedenen Richtungen“ (JENNINGS 1910, vgl. hierzu Fig. 121 und 124).

Von der dorsalen Wand des Schlundes ragt in seinen Hohlraum ein zartes protoplasmatisches Häutchen vor, welches wellige Bewegungen ausführt, die undulierende Membran (Fig. 109, 3 und 111, *Mb*). Ihre Bewegung erleidet niemals eine Unterbrechung, solange das Tier lebt und sich nicht in Teilung oder Konjugation befindet, und befördert das mit dem Wasserstrudel in den Mund gelangte Nahrungspartikelchen in den Grund des das Ektoplasma durchsetzenden Cytopharynx, wo es in das Endoplasma eintritt. Die undulierende Membran selbst entspricht einer mehrfachen Reihe miteinander verschmolzener Cilien; sie läßt eine feine parallele Streifung erkennen, bedingt durch dicht gestellte, an konserviertem Material sich leicht voneinander trennende Fasern, die den elastischen Achsenfibrillen einzelner Cilien homologisiert werden müssen, zumal jede einzelne dieser Fasern von einem Basalkorn entspringt, das durchaus den Basalkörnern der einzelnen Cilien gleicht (Fig. 111, *Bs*).

Die Aufnahme der Nahrungspartikelchen aus dem Schlunde in das Endoplasma ist mit der Bildung einer Nahrungsvakuole verbunden, die ebenso wie die sich anschließenden Verdauungsvorgänge von NIRENSTEIN (1905) in einer sehr wichtigen Arbeit studiert ist. Die am Grunde des Schlundes zusammengedängten Nahrungs-

partikelchen werden mit dem sie umschließenden Wassertropfen nicht einfach passiv durch den Druck des von außen nachdrängenden Wasserstrudels in das Plasma hineingepreßt, wie man früher annahm, sondern aktiv eingeschlungen. Das am Grunde des Schlundes nackt zutage liegende Endoplasma höhlt sich halbkugelig aus und zieht dadurch die den Schlund füllende Flüssigkeit in Form eines Tropfens in das Innere des Zellkörpers hinein (Fig. 118, 6, 1). Die hierdurch

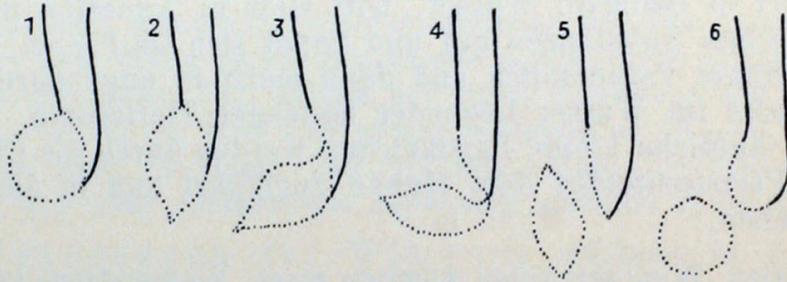


Fig. 118. **Bildung der Nahrungsvakuole** (punktiert gezeichnet) und Ablösung derselben von dem (durch ausgezogene Linien dargestellten) Cytopharynx bei *Paramaecium caudatum*. Im Stadium 6 beginnt nach der Ablösung der ersten bereits die Bildung einer neuen Vakuole. Nach NIRENSTEIN 1905.

gebildete Nahrungsvakuole ist von einer sehr feinen, an ihrem stärkeren Lichtbrechungsvermögen erkennbaren Membran, der Vakuolenhaut, überzogen, die eine wohl durch den Kontakt mit dem Wasser hervorgerufene Differenzierung der oberflächlichen Endoplasmaschicht (eine sogenannte Haptogenmembran) darstellt. Die Ablösung der Nahrungsvakuole vom Schlunde wird dadurch eingeleitet, daß der Tropfen, anscheinend infolge einer Zugwirkung seitens des Endoplasmas, in eine Spitze ausgezogen wird (Fig. 118, 2). Dann zieht sich das die innere Schlundmündung umgebende Endoplasma konzentrisch zusammen und schnürt dadurch die Nahrungsvakuole, zunächst noch in Spindelform, vom Schlunde ab (Fig. 118, 3—5).

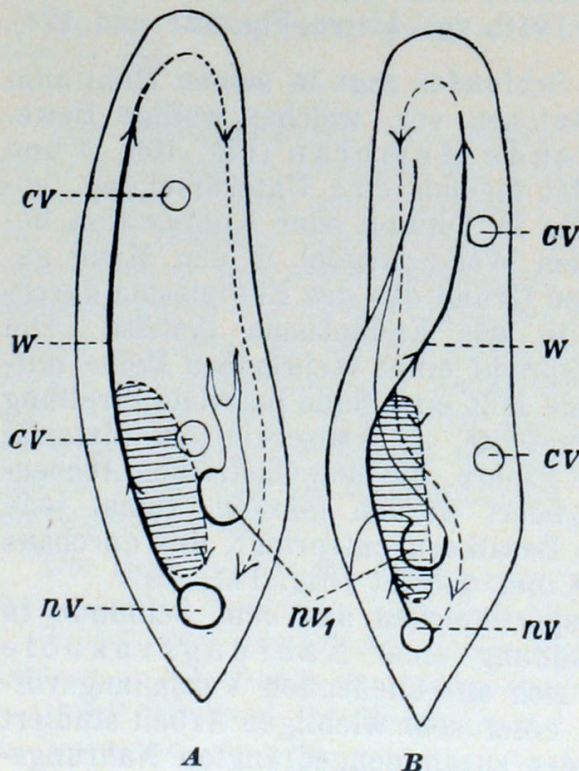


Fig. 119. **Schematische Darstellung der Cyclose von *Paramaecium caudatum***. *A* in Ventralansicht, *B* in Seitenansicht. *cv* pulsierende Vakuolen, *nv* vom Cytopharynx abgelöste Nahrungsvakuole, *nv₁* neue, am Grunde des Cytopharynx in Bildung begriffene Nahrungsvakuole, *w* Umlaufsbahn der Nahrungsvakuolen. Schraffiert die hinter dem Kern gelegene Region der „kleinen Umlaufsbahn“, die wiederholt durchlaufen werden kann, bevor die Nahrungsvakuole in die „große Umlaufsbahn“ eintritt. Mitunter wird auch überhaupt nur die „kleine Umlaufsbahn“ durchgemessen. Nach NIRENSTEIN 1905 aus DOFLEIN.

Die sich alsbald abrundende (Fig. 118, 6) Nahrungsvakuole macht nun eine charakteristische, wenn auch im einzelnen etwas variable Wanderung (Cyclose) durch, die auf Strömungen im Endoplasma beruht (vgl. Fig. 119). Diese Wanderung erfolgt aber nicht mit durchweg gleichbleibender Geschwindigkeit, vielmehr wird die Nahrungsvakuole stets in der Gegend dicht hinter dem Kern eine Zeitlang zurückgehalten. Auch ist sie bei Aufnahme verdaulicher Stoffe von längerer Dauer als bei Aufnahme unverdaulicher Stoffe, die rascher wieder entleert werden (METALNIKOW 1912).

Während der Wanderung erfolgt die Verdauung der in der Nahrungsvakuole enthaltenen Nahrungspartikelchen mit Hilfe der Sekretion von Mineral-(Salz-?)Säure und proteolytischem Ferment.

Die Veränderungen, welche die Vakuole samt Inhalt hierbei erfährt, lassen 2 schon äußerlich durch die Größenverhältnisse der Vakuole gekennzeichnete Perioden unterscheiden (Fig. 120).

Einige Zeit nach der Bildung der Nahrungsvakuole beginnt die Säure-Abscheidung, kenntlich an einer von der Peripherie nach dem Inneren der Vakuole allmählich vorschreitenden Rotfärbung bei Einwirkung neutralisierter farbloser Neutralrotlösung (1—2 Tropfen 0,01-proz. Lösung auf 10 ccm des Wassers, in dem die Paramäcien schwimmen). Die Färbung der aufgenommenen Bakterien folgt der der Vakuolenflüssigkeit nach (Fig. 120, a, b) und geht einher mit Ballung des Va-

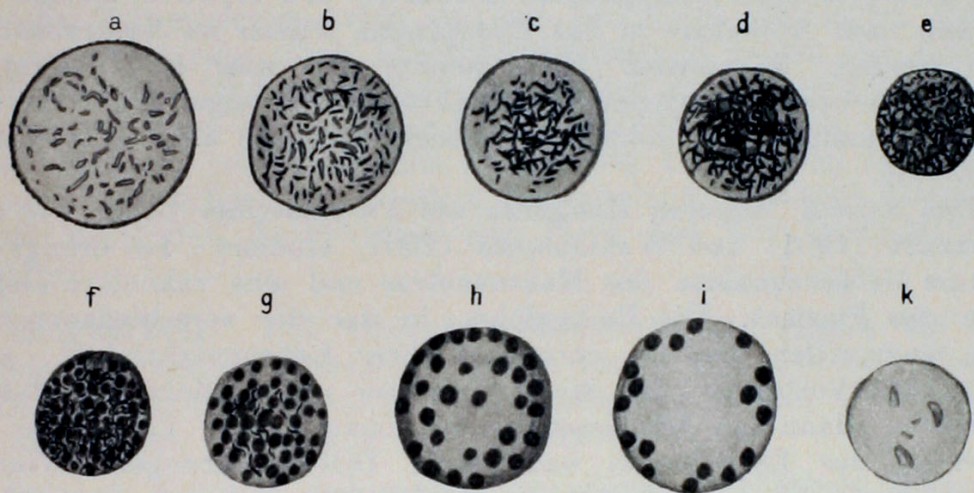


Fig. 120. **Umwandlungserscheinungen an einer Nahrungsvakuole von *Paramecium caudatum*** bei Vitalfärbung mit Neutralrot. Erklärung im Text. Nach KHAINSKY 1911.

kuoleninhalts (c). Gleichzeitig erfolgt eine allmähliche Wasserdiffusion in das umgebende Plasma, bis die Vakuole so stark verkleinert ist, daß ihr Volumen nur noch durch den geballten körperlichen Inhalt bestimmt ist (e). Auf diesem Stadium maximaler Verkleinerung, das nach NIRENSTEIN in 4—6 Minuten erreicht wird, verharrt die Vakuole verhältnismäßig lange Zeit (nach NIRENSTEIN bis zu 16 Minuten), dann beginnt die 2. Periode, in der die Vakuole sich allmählich wieder vergrößert. Hierbei sollte nach NIRENSTEIN die vorher saure Reaktion des Vakuoleninhalts alkalisch werden, indessen hat sich dies bei Nachuntersuchung

durch KHAINSKY (1911) nicht bestätigt¹⁾. Gleichzeitig mit der Vergrößerung der Vakuole erfolgt jedoch eine Auflösung ihres Inhaltes: es bilden sich intensiv färbbare Körnchen oder Tröpfchen, die sich der Vakuolenoberfläche anlagern (*f-i*), ins Plasma austreten und dort alsbald resorbiert werden. Dieser ganze Prozeß vollzieht sich nach KHAINSKY in 10–15 Minuten. Nach vollendeter Resorption, während deren der durch die Rotfärbung angezeigte Säuregehalt der Vakuolenflüssigkeit allmählich wieder schwindet, tritt eine zweite Verkleinerung der Vakuole ein, in der jetzt nur noch einige unverdaute Nahrungsreste sichtbar sind (Fig. 120, *k*). — Daß die Säure eine Mineralsäure ist, läßt sich durch Blaufärbung der Vakuole bei Anwendung von Kongorot nachweisen; ihre Deutung als Salzsäure ist dagegen hypothetisch.

Die in den Nahrungsvakuolen zur Zeit ihrer Verkleinerung enthaltene Salzsäure schätzt NIRENSTEIN auf 0,018–0,03 Proz.

Durch Untersuchung an lebenden Paramäcien, die mit Dotter- oder Stärkekörnchen gefüttert wurden, ist Verdauung von Eiweiß und Kohlehydraten sichergestellt. Auch haben MESNIL und MOUTON (1903) aus Paramäcien ein proteolytisches Ferment isoliert, das Gelatine und Fibrin verflüssigt. Ein im Plasma diffus verteiltes Glykogen hat bereits MAUPAS nachgewiesen.

Unter normalen Lebensbedingungen enthalten Paramäcien stets eine mehr oder minder erhebliche Zahl von Fettkörnchen. Nach NIRENSTEIN (1909) soll nun gleichzeitig mit der Proteolyse in der Nahrungsvakuole auch eine Verdauung des Fettes stattfinden, indem dasselbe in seine wasserlöslichen Komponenten (Fettsäure und Glyzerin) zerlegt wird, die dann nach Aufnahme in das Endoplasma wieder zu Neutralfett vereinigt werden. STANIEWICZ (1910) konnte dies aber nicht bestätigen; nach ihm können Paramäcien (und wahrscheinlich sogar alle Protozoen) Fett nicht assimilieren, bilden es vielmehr lediglich aus Kohlehydraten und Eiweiß.

Den Einfluß längeren Hungerns auf Paramaecium haben vor allem KASANZEFF (1901) und WALLENGREN (1901) studiert. Es erfolgt eine abnorme Größenzunahme des Makronucleus und eine vakuoläre Degeneration des Plasmas. Die Reihenfolge, in der die verschiedenen Organellen angegriffen werden, entspricht ihrer Lebenswichtigkeit: zuerst erfolgt der Verbrauch der in Granulaform aufgespeicherten Reservematerialien, dann ein Einschmelzen des Endoplasmas, dann eine Verminderung des Ektoplasmas und seiner Differenzierungen (Wimpern, Trichocysten) und hierauf erst ein Zerfall des massigen, vergrößerten Großkerns, der Mikronucleus dagegen bleibt bis zum körnigen Zerfall der ganzen Zelle nahezu unverändert. Paramäcien, die lange gehungert haben, haben nach NIRENSTEIN (1909) die Fähigkeit zur Bildung von Nahrungsvakuolen dauernd verloren. Nach WALLENGREN (1901) können jedoch auch stark vakuolisierte und deformierte Paramäcien sich bei

1) Nach neueren Versuchen von METALNIKOW (1912) scheint die Reaktion der Nahrungsvakuolen je nach der Natur der aufgenommenen Nahrung verschieden zu sein. Bei Ernährung mit Eiweißkörpern (z. B. Eidotter) soll entsprechend den Angaben NIRENSTEINS auf eine Periode saurer eine solche alkalischer Reaktion folgen; bei Fütterung mit Fett, Kohlehydraten (Amidon) oder pulverisiertem Glase dagegen die alkalische Reaktion ganz oder fast ganz fortfallen, bei Ernährung mit gewissen Bakterien endlich (*B. coli*, *Proteus*) umgekehrt die saure Reaktion ausbleiben und dauernd alkalische Reaktion bestehen. Hiernach würde also saure Reaktion vorherrschen bei unverdaulicher oder schwer verdaulicher, alkalische dagegen bei normaler leichtverdaulicher Ernährung der Paramäcien.

Nahrungszufuhr noch wieder erholen und normale Form annehmen. Erst wenn kleinere oder größere Teile des Körpers bereits körnig zerfallen sind, ist eine Wiedererholung nicht mehr möglich.

Die nur noch die unverdaulichen Nahrungsreste enthaltenden Kotvakuolen (Fig. 109, *li* und Fig. 120, *k*) gelangen schließlich zu dem Zellafter (Cytopyge), der bei Paramecium auf der Bauchfläche zwischen Cytostom und Hinterende liegt, aber nur in dem Momente sichtbar wird, wenn die unverdauten Nahrungsreste durch ihn entleert werden. Diese Entleerung erfolgt durch einfaches Bersten der Kotvakuole.

Von Stoffwechselprodukten finden sich im Endoplasma von Paramecien außer den bereits bei Schilderung der Verdauung besprochenen noch eigenartige „Exkretkristalle“, die nach SCHEWIAKOFF (1894) aus phosphorsaurem Kalk bestehen (Fig. 109, *5*).

„Sie werden von der Plasmazirkulation umhergeführt und zeigen die Tendenz im vorderen und hinteren Körperende, d. h. in der Nähe der beiden kontraktile Vakuolen, sich anzusammeln.“ Dabei kommen sie dicht unter das Ektoplasma zu liegen, nehmen an Größe allmählich ab, schmelzen gleichsam, wobei sie meist in kleinere Stücke zerbröckeln. Schließlich schwinden sie. Da nie beobachtet werden konnte, daß sie per anum austreten, so vermutet SCHEWIAKOFF, daß sie aufgelöst und im flüssigen Zustande durch die kontraktile Vakuolen entleert werden.

Encystierung ist bei den Wimperinfusorien schon sehr lange bekannt und bei gewissen Arten leicht zu beobachten. Obschon nun aber die Paramecium-Arten zu den häufigsten Infusorien gehören und deshalb sowie ihrer leichten Züchtbarkeit wegen von jeher ein Lieblingsobjekt für Untersuchungen gewesen sind, so sind doch Cysten von Paramecium erst in neuerer Zeit entdeckt worden. PROWAZEK (1899) fand die runden, hellen Cysten von *P. bursaria*, deren Wand aus einer gelblichgrünen, deutlich konturierten Membran besteht; er konnte auch das Auskriechen der Tiere aus der Cystenhülle beobachten.

Reizbarkeit. Der Einfluß verschiedenartiger Reize auf Paramecien und andere Infusorien ist im Laufe der letzten beiden Dezennien Gegenstand vielfacher Untersuchungen gewesen, die Ergebnisse von allgemeiner Bedeutung gezeitigt haben.

Solange der Reiz nicht durch eine direkt schädigende Einwirkung eine eingreifendere Veränderung des Infusors hervorruft, wird die Reaktion in einer Veränderung der Bewegung bestehen und diese Bewegungsänderung beruht bei den verschiedenartigsten Reizen fast immer auf derselben in der Organisation des Tieres begründeten „Fluchtreaktion“. Durch die Peristomwimpern werden, wie wir gesehen haben (S. 99), andauernd „Proben“ des vor dem Tier befindlichen Wassers dem Cytostom zugeführt. Wenn nun dieses Wasser eine Reizwirkung ausübt (beispielsweise dadurch, daß es einen wirksamen chemischen Stoff in Lösung enthält, der dem Wasser, aus dem das Infusor herangeschwommen kommt, fehlt; experimentell leicht erreichbar durch Einbringen eines Kochsalzkristalles an den Rand des die Infusorien enthaltenden Wassertropfens), so wird je nach der Stärke des Reizes die Vorwärtsbewegung verlangsamt, zum Stillstand gebracht oder gar durch ein Rückwärtsschwimmen ersetzt. Dadurch kann sich das Infusor einem

schädlichen Einfluß entziehen. Gleichzeitig aber verlangsamt sich auch seine Rotation um die Längsachse, während sich die Abweichung nach der aboralen Seite (vgl. S. 98) verstärkt; infolgedessen dreht sich das Tier bei Stillstand in der Längsrichtung (eventuell nach Aufhören der anfänglichen Rückwärtsbewegung) in einer trichterförmigen Bahn (Fig. 121)

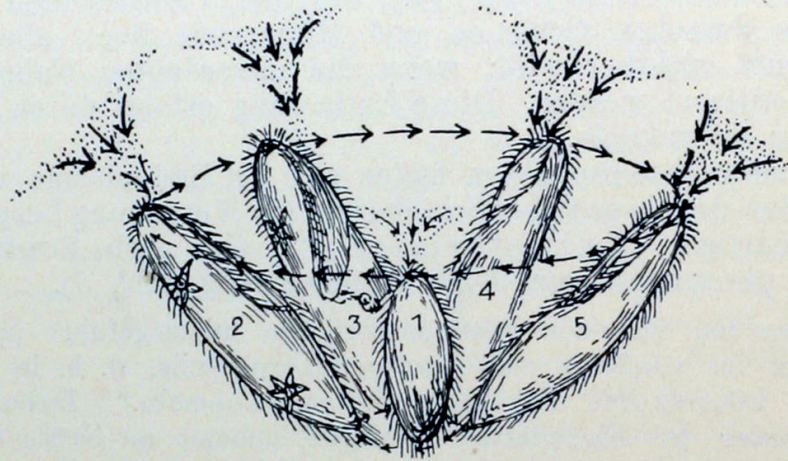
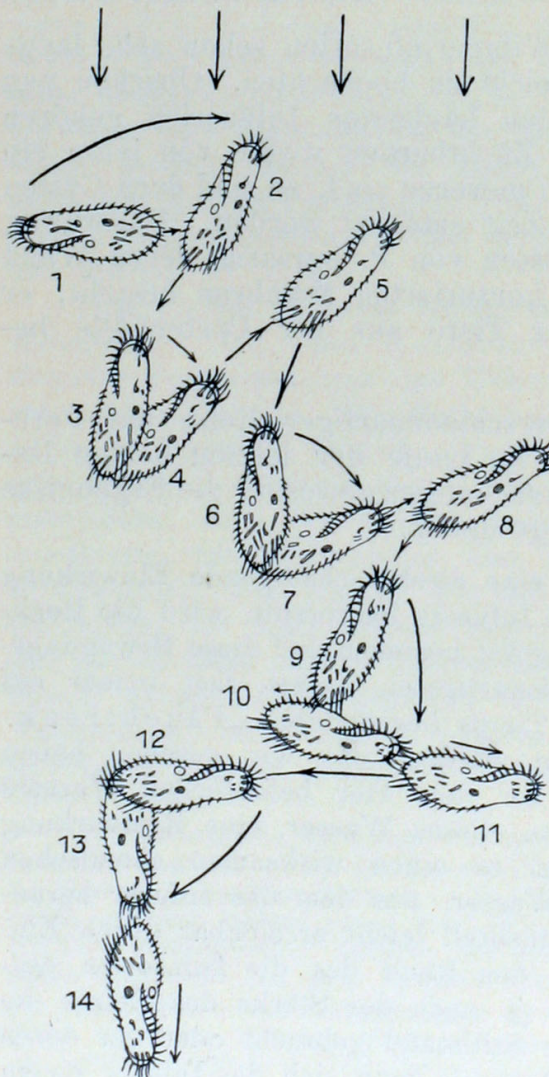


Fig. 121. Deutlich ausgesprochene **Fluchtreaktion von Paramecium**. 1—5 Fünf aufeinander folgende Stellungen des in trichterförmiger Bahn herumschwingenden Infusors. Nach JENNINGS 1910.



herum, wobei der Oeffnungswinkel des Trichters abhängig ist von der Stärke des Reizes. Bei dieser Bewegung werden dem Cytostom Wasserproben aus sehr verschiedenen Richtungen zugeführt und wenn infolge dieses Wechsels der Reiz, der die Reaktion ausgelöst hatte, wieder aufhört, so setzt die normale Vorwärtsbewegung wieder ein. Kleine Hindernisse können auf diese Weise schon mit Hilfe einer einmaligen Fluchtreaktion, größere durch mehr oder weniger oftmalige Wiederholung solcher (Fig. 122) umgangen werden. „Die Art der Reaktion mit dem

Fig. 122. **Fluchtreaktion eines Infusors** (*Oxytricha fallax*). In der Stellung 1 wird das Tier durch einseitige Erwärmung von der Richtung der parallelen Pfeile her gereizt, dreht sich nach der aboralen Seite (2), fährt zurück (3) und dreht sich noch weiter aboral (4). Darauf schwimmt es wieder vorwärts (5), fährt aber wieder zurück (6) und dreht sich dann wieder nach der aboralen Seite (7). Die gleiche Reaktion wiederholt es noch zweimal (8—13), bis es auf diese Weise schließlich eine von der Reizquelle abgewandte Richtung gewinnt, in der es davonschwimmt (14). Nach JENNINGS 1904, etwas verändert.

systematischen Probieren aller Richtungen muß dazu führen, jeden vorhandenen Ausweg zu finden, gleichgültig wie eng er auch sein mag“ (JENNINGS 1910).

1. Mechanische Reize.

a) Berührungsreize. Wenn Paramecium beim Vorwärtsschwimmen gegen einen festen Gegenstand stößt, so antwortet es darauf gewöhnlich mit der vorstehend geschilderten typischen Fluchtreaktion durch Rückwärtsschwimmen. Bei Versuchen mit einem in äußerst feine Spitze ausgezogenen Glasstäbchen genügt schon eine ganz leise Berührung des Vorderendes zur Auslösung einer kräftigen Fluchtreaktion, während die übrige Körperfläche sehr viel weniger empfindlich ist und einen sehr viel stärkeren Reiz erfordert, der dann gleichwohl nur eine geringfügige Reaktion veranlaßt (JENNINGS 1897, 1900). — Spirostomum ist dagegen an allen Stellen der Körperoberfläche in gleicher Weise für mechanische Reize empfindlich und reagiert stets mit derselben Fluchtreaktion, gleichgültig, ob die Berührung vorn, hinten, dorsal oder ventral erfolgt.

Unter gewissen, noch nicht mit voller Genauigkeit festgestellten Bedingungen flieht dagegen Paramecium nicht von dem berührten Gegenstand fort, sondern hemmt vielmehr seine Bewegung, indem die den betreffenden Körper berührenden Wimpern stillstehen und unbeweglich bleiben (Thigmotaxis, Fig. 123). Auch die übrigen Wimpern schlagen

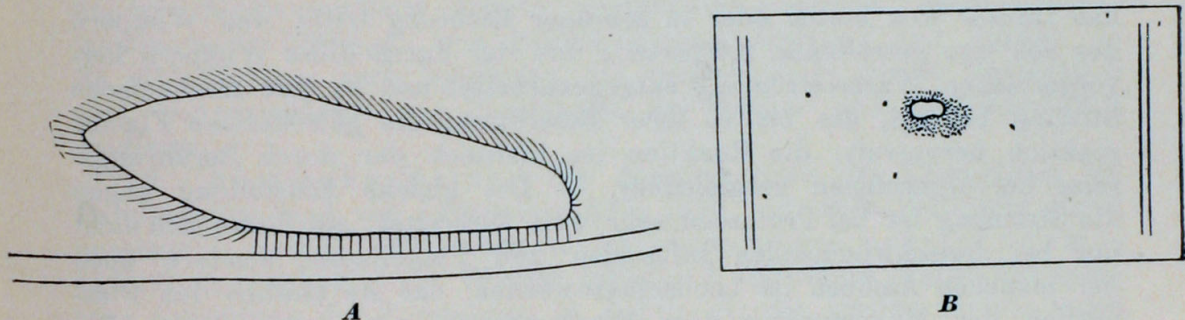


Fig. 123. **Thigmotaxis von Paramecium.** A Ein Individuum in Berührung mit einer Fließpapierfaser. Die die Faser direkt berührenden Wimpern stehen vollkommen still. B Ansammlung von Paramäcien um ein Fließpapierstückchen unter dem Deckglas. Nach JENNINGS 1897 aus VERWORN, Allgem. Physiologie.

dann mit Ausnahme der des Peristoms gewöhnlich nur schwach und wirkungslos, so daß die Tiere wie festgebannt am Platze verharren. Nur auf dem Peristom wird die Wimperbewegung energisch fortgesetzt, einen kräftigen mundwärts gerichteten Strudel erzeugend (Fig. 124). Die Körper, mit denen Paramecium unter natürlichen Verhältnissen

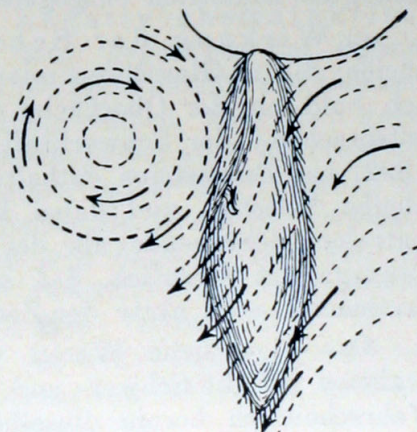


Fig. 124. **Paramecium caudatum.** Durch Berührung des Vorderendes mit einem Zoogloeahaufen ist das Tier zum thigmotaktischen Stillstand gekommen. Die gebrochenen Linien und Pfeile geben die unter diesen Umständen durch die Wimpern (vornehmlich des Peristoms) hervorgerufene Strömung in dem umgebenden Wasser an. Nach JENNINGS 1910.

am häufigsten in Berührung kommt, sind Teilchen verwesender Pflanzenteile oder Bakterienhaufen; der thigmotaktische Stillstand hilft ihm also wesentlich bei der Gewinnung seiner aus Bakterien bestehenden Nahrung. Derselbe ist so stark, daß hierdurch sogar die nachstehend besprochenen Wirkungen galvanischer und thermischer Reize aufgehoben oder doch wenigstens stark gehemmt werden: Tiere, die auf die letzteren Reize allein sofort davonschwimmen würden, bleiben in ihrer thigmotaktischen Ruhe, manche Infusorien so vollkommen, daß sie unter Umständen infolge von Temperatursteigerung absterben; speziell bei Paramäcien tritt letzteres allerdings nicht ein: bei 37° C überwindet die Reaktion auf den thermischen Reiz die Thigmotaxe, so daß die Tiere sich losreißen und davonschwimmen.

Thigmotaxe ist bei Protozoen außerordentlich weit verbreitet; unter den Infusorien spielt sie eine besonders große Rolle bei den Hymenostomen (zu denen ja auch *Paramecium* gehört) und den Hypotrichen, während sie bei den räuberischen Gymnostomen kaum vorkommt. Sehr häufig ist der thigmotaktische Stillstand verbunden mit der Abscheidung einer klebrigen Substanz auf der Oberfläche des Körpers (vgl. hierzu unten das Kapitel über die Haftorganellen der Protozoen).

b) Wirkung von Strömungen. Auf eine Strömung im Wasser reagiert *Paramecium* derart, daß es sich in der Richtung der Strömung mit dem Vorderende stromaufwärts einstellt (positive Rheotaxe). JENNINGS (1910) erklärt diese Reaktion damit, daß ein Wasserstrom, der das Infusor von hinten oder in schräger Richtung trifft, den Wimpern des von ihm getroffenen Körperteils und der durch diese Wimpern hervorgerufenen Wasserströmung entgegenarbeitet und so eine mechanische Störung bedingt, die bis zu ihrer Beseitigung die gewöhnliche Fluchtreaktion hervorruft; die Reaktion ist hiernach der durch Berührungsreize hervorgerufenen vergleichbar. — Die gleiche Einstellung gegen die Strömung ist bei Protozoen sehr weit verbreitet; sie findet sich nicht nur bei freischwimmenden Infusorien und Flagellaten, sondern auch bei manchen Amöben ist beobachtet worden, daß sie ähnlich den Plasmodien der Myxomyceten dem Wasserstrome entgegenwandern. Bei manchen Arten ist diese Einstellung gegen die Strömung physiologisch von besonderer Wichtigkeit, so z. B. bei den Trypanosomen und ähnlichen Blutparasiten, bei deren im Darm von Arthropoden und Blutegeln lebenden Entwicklungsstadien sie in neuerer Zeit durch Beobachtungen sichergestellt ist, nachdem ich sie schon früher vorausgesetzt hatte, da die fraglichen Formen zum Zwecke der Infektion des Wirbeltieres dem gesaugten Blutstrom entgegenschwimmen müssen.

c) Wirkung der Schwer- und Zentrifugalkraft. Paramäcien, die in Glasröhren mit reinem Wasser überführt werden, sammeln sich bald an der Oberfläche der Wassersäule (negative Geotaxis). Entsprechend der Schwerkraft wirkt auch die Zentrifugalkraft. JENSEN (1892) hat Paramäcien enthaltende Röhren radiär auf einer Zentrifugalscheibe befestigt und dabei konstatiert, daß sich die Paramäcien am zentralen Röhrenende als der Stelle niedrigsten Druckes ansammeln, vorausgesetzt natürlich, daß so langsam zentrifugiert wurde, daß die Paramäcien noch aktiv der Zentrifugalkraft entgegenschwimmen konnten.

Das eigentliche Wesen des ausschlaggebenden Faktors bei der Reaktion auf die Schwer- und Zentrifugalkraft ist noch ziemlich dunkel. Wahrscheinlich beruht dieselbe auf der Verteilung von Substanzen ver-

schiedenen spezifischen Gewichts im Plasma, die bei Stellung der Paramäcien mit dem Vorderende abwärts zu „Fluchtreaktionen“ führt (LYON 1905, JENNINGS 1910). Die verschiedene Stärke des Geotropismus in verschiedenen Paramäcienkulturen führt PÜTTER (1911) auf die Verschiedenheiten in der Menge der Kristalle phosphorsauren Kalkes zurück. Bei aller Verschiedenheit seiner Stärke ist der Reiz aber offenbar doch stets ein verhältnismäßig schwacher, da er durch Veränderungen der Erregbarkeit der Tiere zeitweise unwirksam gemacht oder gar die negative Geotaxe in eine positive umgekehrt werden kann (Ansammlung der Paramäcien am unteren Ende der Wassersäule). Letzteres geschieht z. B. nach SOSNOWSKI (1899) bei Erschütterungen der die Tiere enthaltenden Glasröhre; auch hohe Temperaturen können vorübergehend positive Geotaxe hervorrufen. Dabei ist das wirksame Temperaturminimum bei verschiedenen Kulturen verschieden, das niedrigste beobachtete war $+ 24^{\circ} \text{C}$; maßgebend ist die absolute, nicht die relative Temperaturhöhe; es gibt aber nach SOSNOWSKI Kulturen mit so stark entwickelter negativer Geotaxe, daß auch die höchsten möglichen Temperaturen unwirksam bleiben. Herabsetzung der Temperatur ruft keine Veränderung der Geotaxe hervor. Auch durch chemische Reize, z. B. durch Zusatz geringer Mengen von Säuren oder Alkalien zu der Kulturflüssigkeit, kann vorübergehend positive Geotaxe hervorgerufen werden und durch erneuten Zusatz kann man diese Erscheinung wiederholt wieder erzeugen, wenn die Tiere vorher unter Anpassung an das veränderte Medium wieder negativ geotaktisch geworden waren; ebenso wirken auch Lösungen von Eiweiß, Kasein, Gelatine und Zucker. — Es gibt übrigens auch Infusorien, die normalerweise positiv geotaktisch sind, also umgekehrt wie Paramäcien auf Schwer- und Zentrifugalkraft reagieren.

2. Chemische Reize. Die Erscheinungen der Chemotaxis bei Paramecium sind von JENNINGS (1897, 1899, vgl. auch 1910) sehr genau untersucht worden. Paramecium ist ausgesprochen positiv chemotaktisch gegenüber in Wasser gelöster Kohlensäure (daher die spontane Anhäufung der Paramäcien in dichten Haufen infolge der von ihnen selbst produzierten CO_2). Ueberhaupt ist Paramecium positiv chemotaktisch gegenüber allen schwachen Säuren und sauer reagierenden Lösungen. Wird aber ein gewisser Konzentrationsgrad überschritten (auch bei der Kohlensäurelösung), so reagieren die Infusorien negativ chemotaktisch. Positiv chemotaktisch ist Paramecium auch gegenüber destilliertem Wasser und in besonders starkem Maße, wie NOWIKOW (1908) zeigte, gegenüber Extrakten der Schilddrüse, Hypophyse und Nebenniere. Paramecium ist dagegen negativ chemotaktisch außer gegenüber stärkeren Säurelösungen auch gegenüber der eigenen Kulturflüssigkeit, welche pflanzliche Zerfallprodukte enthält und alkalisch reagiert, überhaupt gegen alle alkalisch reagierenden, aber auch gegen viele neutrale Lösungen. Bei Kochsalz, überhaupt bei allen Alkalien und Verbindungen der Alkali- und Erdalkalimetalle (außer den Tonerden mit nur sehr kleinem Metallanteil) ist die abstoßende Kraft im Verhältnis zur Schädlichkeit sehr groß; die Reaktion tritt daher so früh ein, daß sie die Infusorien vor Schädigungen schützt. Bei den meisten anderen Verbindungen (Säuren, Alaune, Zucker, Glyzerin u. a.) ist dagegen die abstoßende Kraft im Verhältnis zur Schädlichkeit nur gering; die Reaktion schützt daher nur unvollkommen und hängt vielleicht sogar mit bereits beginnender Schädigung zusammen.

Als Reiz wirkt stets nur eine Veränderung des Mediums und die Reaktion beruht stets auf der typischen Fluchtreaktion. Positive Chemotaxe kommt dadurch zustande, daß beim Eintritt in das betreffende Medium, etwa eine stark verdünnte Säurelösung, keine Reaktion erfolgt, der Austritt dagegen durch die Fluchtreaktion beim Erreichen

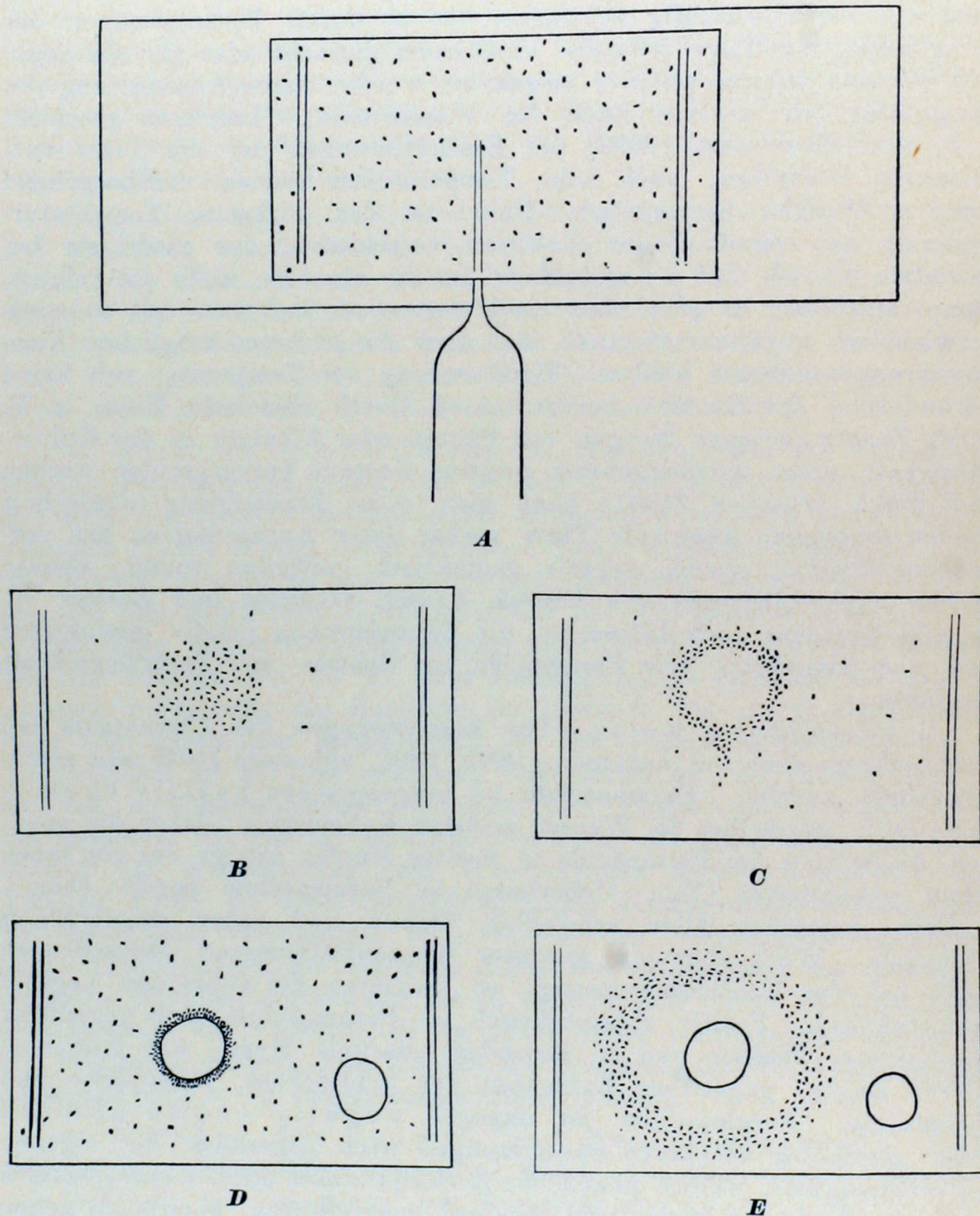


Fig. 125. **Chemotaxis von Paramecium.** *A* Chemotaktisches Deckglaspräparat: mit einer Kapillarpipette ist ein Flüssigkeitstropfen unter das Deckglas gebracht worden, der negativ chemotaktisch wirkt. *B* Positiv chemotaktische Ansammlung. *C* Dieselbe bei zu hoher Konzentration der betreffenden Lösung: Die Paramecien haben sich ringförmig im Optimum der Konzentration angesammelt (vgl. hierzu Fig. 126). *D* Eine Kohlensäure- und eine Luftblase sind unter dem Deckglas: die erstere (links) wirkt Minuten später: die Kohlensäure ist zum Teil in das umgebende Wasser diffundiert und hat dort durch ihre zu hohe Konzentration die Paramecien bis dahin vertrieben, wo sie ihr Kohlensäureoptimum finden. Nach JENNINGS 1897 aus VERWORN, Allgem. Physiologie.

der Grenze verhindert wird. Manche anorganische Substanzen rufen schon Reaktionen hervor in Lösungen, die so schwach sind, daß sie den Geschmackssinn des Menschen noch gar nicht erregen.

Die allgemeine Wirkung der negativen Chemotaxe ist die, den Organismus aus der Einflußsphäre des Agens zu entfernen und ihn vor dem Wiedereintritt in dieselbe zu bewahren. Daß aber durch die blinde, nur von der Organisation des Tieres, nicht von der Richtung des Reizes abhängige Reflexbewegung das Tier auch geschädigt werden kann, lehrt folgender Versuch. In einer Parameciumkultur (etwa auf einem Objektträger) ruhen Paramäcien, thigmotaktisch mit dem Vorderende einem anderen Körper anliegend. Dem Wasser wird nun hinter diesen Tieren ein Tröpfchen einer schädlichen, negative Chemotaxis hervorruhenden Lösung zugefügt. Sobald diese die Paramäcien erreicht, zeigen sie die charakteristische Reaktion, schwimmen rückwärts und geraten dabei in den dichteren Teil der verwendeten Lösung, wo sie den Tod finden.

Zur näheren Erläuterung der chemotaktischen Erscheinungen diene nachstehendes Beispiel (vgl. auch Fig. 125). Fügt man einer Deckglaskultur von gleichmäßig zerstreuten Paramäcien mit fein ausgezogener Pipette ein Bläschen Kohlensäure hinzu und läßt dann diese Blase langsam ins Wasser diffundieren, so entsteht in letzterem ein Hof, an dessen Peripherie eine schwache (positiv chemotaktisch wirkende), in dessen Zentrum eine stärkere (negativ chemotaktisch wirkende) Kohlensäurelösung vorhanden ist. Alle Paramäcien, die beim Herumschwimmen zufällig an die äußere Grenze des Hofes gelangen, überschreiten diese und treten ungereizt in den ringförmigen Bezirk der schwachen Kohlensäurelösung ein, in der sie vorwärts schwimmen bis sie an eine Stelle kommen, wo die Lösung so konzentriert geworden ist, daß sie negativ chemotaktisch wirkt. In diesem Augenblick werden sie gereizt, schwimmen rückwärts, drehen sich und schwimmen in einem Winkel zur vorhergehenden Bahn wieder vorwärts, bis sie, eventuell zum zweiten Male an der Grenze der stärker konzentrierten Lösung angekommen, gereizt werden und wieder jene Fluchtreaktion zeigen oder bis sie umgekehrt an der äußeren Grenze der Zone schwacher Lösung ankommen, wo die kohlensäurearme Kulturflüssigkeit als Reiz wirkt und ebenfalls die Fluchtreaktion auslöst. So finden sich die Paramäcien in der ringförmigen Zone der schwachen Kohlensäurelösung wie gefangen, sie schwimmen hin und her und werden regelmäßig an ihrer äußeren und inneren Grenze zurückgeworfen (Fig. 126). Allmählich geraten immer mehr, schließlich vielleicht alle Paramäcien bei ihrem Umher schwimmen in diese ringförmige Zone, die das Optimum des Kohlensäuregehaltes darstellt und in der sie in der geschilderten Weise zurückgehalten werden. Die ringförmige Zone selbst erweitert und vergrößert sich inzwischen in demselben Maße, wie die Kohlensäure aus dem Bläschen in das umgebende Wasser diffundiert, während die zentrale, „paramäcienlose“ Zone konzentrierter Kohlensäurelösung sich ebenfalls entsprechend vergrößert.

Art und Stärke der Einwirkung verschiedener Stoffe auf Paramäcien und andere Protozoen sowie die allmähliche Anpassung der letzteren an zunächst schädlich wirkende Stoffe ist im Laufe des letzten Dezen-

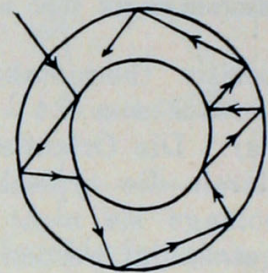


Fig. 126.

Schwimmbahn eines einzelnen Parameciums in einer ringförmigen Ansammlung, wie sie Fig. 125 C darstellt. Nach JENNINGS 1910.

niums von verschiedenen Autoren in zahlreichen Arbeiten untersucht worden. Hier muß jedoch dieserhalb auf PROWAZEK (1909) verwiesen werden, wo die wichtigsten bis dahin erzielten Resultate zusammengestellt sind. Es sei nur angeführt, daß nach POPOFF (1909) ammoniakhaltiges Wasser zu morphologischen Veränderungen führt, die den während der Depressionsperioden eintretenden (vgl. S. 120) entsprechen

3. Thermische Reize. MENDELSSOHN (1895, 1902) zeigte, daß Paramäcien für Temperaturunterschiede sehr empfindlich sind. Herrscht im Wasser eine gleichmäßig konstante Temperatur, so zeigen die Tiere keine bestimmte Reaktion. Es genügt aber eine minimale lokale Erwärmung oder Abkühlung, um sie positiv oder negativ thermotaktisch zu machen, und zwar tritt diese Reaktion der Paramäcien bereits dann ein, wenn der Unterschied zwischen den Temperaturen des Mediums an den beiden Enden ihres Körpers nur ca. $0,01^{\circ}\text{C}$ beträgt. Bei Temperaturen über $24\text{--}28^{\circ}\text{C}$ sind die Paramäcien negativ thermotaktisch; sie verlassen die wärmeren und sammeln sich an kühleren Stellen an (Fig. 127). Bei Temperaturen unterhalb $24\text{--}28^{\circ}\text{C}$ sind sie dagegen

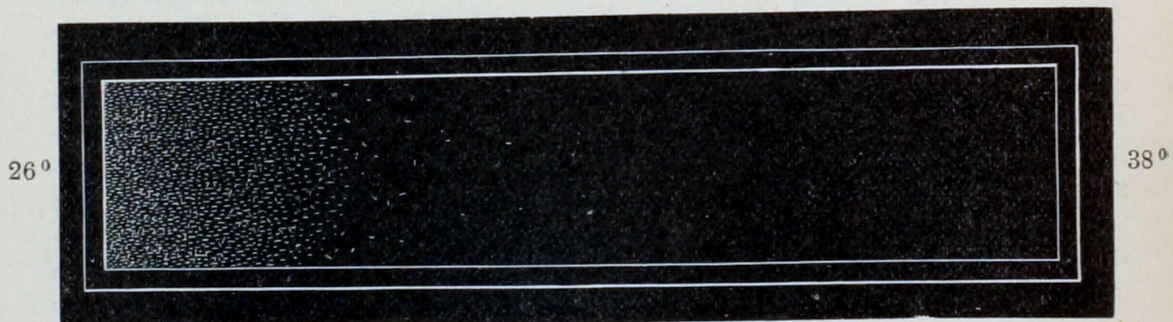


Fig. 127. **Thermotaxis von Paramaecium.** In einer schwarzen Ebonitwanne von 10 cm Länge befinden sich zahlreiche Paramäcien, die sich bei einseitiger Erwärmung der Wanne auf über $24\text{--}28^{\circ}\text{C}$ alle nach der kühleren Seite hin bewegen. Nach MENDELSSOHN 1895 aus VERWORN, Allgem. Physiologie.

positiv thermotaktisch und verlassen die kühleren Stellen. Die Temperatur von $24\text{--}28^{\circ}\text{C}$ stellt also für Paramäcien das Wärmeoptimum dar. Die Orientierung der Bewegungsrichtung kommt auch hier wieder durch die typische Fluchtreaktion zustande, indem die Paramäcien — solange sie nicht durch zu hohe oder zu niedrige Temperaturen direkt geschädigt werden — „jede mögliche Richtung mittels der Fluchtreaktion probieren, bis sie schließlich die einzige Richtung auffinden, die keine Reizung verursacht; und in dieser Richtung setzen sie ihre Bewegungen fort“ (JENNINGS 1910, vgl. auch Fig. 122).

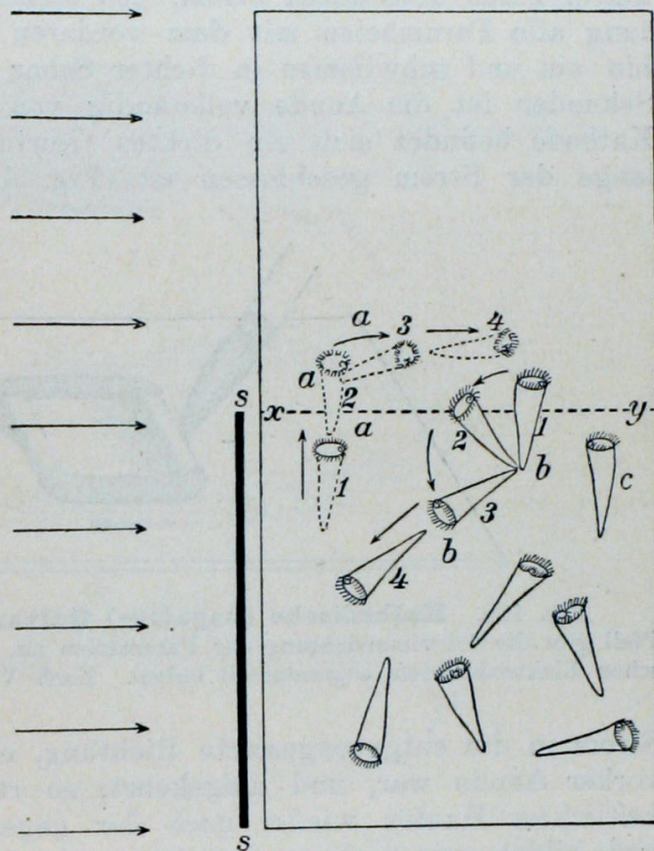
Im übrigen gilt auch für Paramaecium das Gesetz, daß innerhalb gewisser Grenzen zunehmende Temperatur auf alle Lebensvorgänge erregend und belebend wirkt. Außer bei der Lokomotion zeigt sich dies ganz besonders deutlich bei der Bildung der Nahrungsvakuolen, die bei Steigerung der Temperatur in ganz erheblich kürzeren Intervallen aufeinander folgen (METALNIKOW 1912), sowie bei der Pulsationsfrequenz der kontraktilen Vakuole, die nach KANITZ (1907), und der Teilungsgeschwindigkeit, die nach SUN (1912) eine Exponentialfunktion der Temperatur ist, indem entsprechend der VAN T'HOFFSchen Regel für chemische Reaktionen bei einer Temperatursteigerung um 10°C ungefähr eine Verdoppelung erfolgt (vgl. auch oben S. 96 sowie unten den Abschnitt über die Exkretionsorganellen). Die Kohlensäureproduktion ermittelte

BARRATT (1905) bei Versuchen, zu denen ein und dieselbe Kultur von Paramäcien benutzt wurde, bei 15° C zu 1,3 Proz. des Körpergewichts, bei 27—30° C dagegen zu 2,7 Proz., also mehr als doppelt so hoch¹⁾.

4. Optische Reize. Auf gewöhnliches Licht ist für Paramecium keinerlei Reaktion bekannt. Dagegen konnte HERTEL (1904) bei Verwendung von starkem ultravioletten Licht (Strahlen eines Magnesium-Spektrums mit einer Wellenlänge von 280 $\mu\mu$) eine negative Reaktion konstatieren, indem die Paramäcien sich bald an den nicht belichteten Stellen ansammeln.

Bei anderen Infusorien findet sich eine erheblich stärkere Empfindlichkeit für Licht. So reagiert z. B. *Stentor coeruleus* sehr stark auf Belichtung des besonders empfindlichen Vorderendes, und zwar auch

Fig. 128. **Negative Photo-taxis von Stentor.** Die großen Pfeile geben die Richtung der Lichtstrahlen an. Ein Schirm (s) hält dieselben von der unteren Hälfte des Gefäßes ab; $x-y$ Grenze des beschatteten und des belichteten Teiles. Die Stentoren sammeln sich in dem beschatteten Teile und schwimmen dort in den verschiedensten Richtungen. Bei $a(1-4)$ (punktierte Umrisse) die nach der Tropismentheorie bei gesteigerter Tätigkeit der vom Licht direkt getroffenen Wimpern zu erwartende direkte Abkehr von den Lichtstrahlen, wenn ein Stentor in den belichteten Teil hineingerät; bei $b(1-4)$ die tatsächlich erfolgende Reaktion, bei der sich das Tier seiner Organisation entsprechend nach der aboralen Seite dreht und daher in diesem Falle zunächst dem Licht zuwendet. Nach JENNINGS 1904.



wieder mit einer durch die Organisation bedingten charakteristischen Fluchtreaktion (ähnlich der von Paramecium) ohne Rücksicht auf die Richtung, aus der der Reiz kommt (vgl. Fig. 128), mit Rückwärtschwimmen und Drehung nach der rechten aboralen Seite.

Positive Phototaxe ist am eingehendsten bei *Euglena viridis* untersucht. Auch hier ist die Lichtempfindlichkeit besonders im Vorderende lokalisiert, das ja auch den Pigmentfleck birgt, und auch hier beruht sie wieder auf einer Fluchtreaktion, die ähnlich wie eine schwache Fluchtreaktion von Paramecium in stärkerer Krümmung der spiralen Schwimmbahn mit folgendem Weiterschwimmen in einer mit Hilfe dieser stärkeren Ablenkung der Körperachse von der bisherigen Schwimmrichtung gewonnenen neuen Richtung besteht und die bei Ab-

1) Die hierbei benutzte Kultur bestand aus Paramäcien, die gehungert hatten, so daß infolge dessen die Kohlensäureproduktion stark herabgesetzt war. In anderen Kulturen betrug sie je nach Temperatur und Ernährungszustand 2,9—5,3 Proz. des Körpergewichts.

nahme der einwirkenden Lichtstärke eintritt, derart daß die *Euglena* nach „Probieren“ verschiedener anderer Richtungen schließlich dem Lichte zustrebt (also wieder eine Reaktion per exclusionem wie bei der positiven Chemotaxe, vgl. JENNINGS 1904, 1910).

Eine entsprechende positive Phototaxe beobachtete ENGELMANN (1882) bei dem durch Zoochlorellen grün gefärbten *Paramecium bursaria*, hier aber nur bei Sauerstoffmangel, während die Tiere sich bei Sauerstoffüberschuß von dem Lichte entfernten. In beiden Fällen ist rotes Licht am wirksamsten und die Reaktion steht offenbar in Beziehung zur Sauerstoffausscheidung der grünen Zoochlorellen unter der Einwirkung des Sonnenlichtes.

5. Elektrische Reize. Leitet man durch eine Paramäcienkultur einen konstanten Strom, „so stellen sich im Moment der Schließung alle Paramäcien mit dem vorderen Körperpol nach der Kathode hin ein und schwimmen in dichter Schar auf dieselbe los. In wenigen Sekunden ist die Anode vollständig von ihnen verlassen und an der Kathode befindet sich ein dichtes Gewimmel, das bestehen bleibt, solange der Strom geschlossen ist (Fig. 129). Wendet man jetzt den

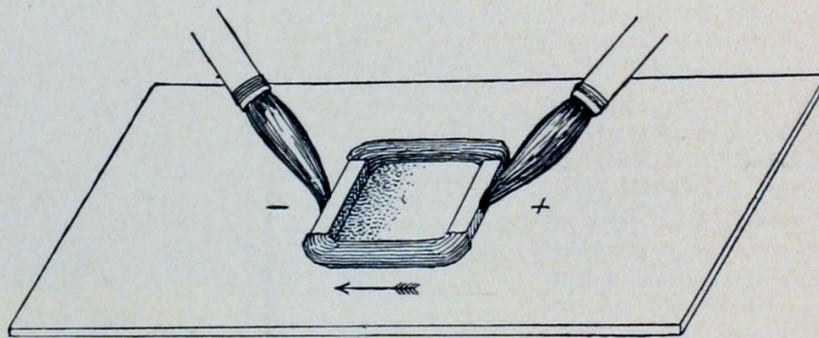


Fig. 129. **Kathodische (negative) Galvanotaxis von *Paramecium*.** Der Pfeil gibt die Schwimmrichtung der Paramäcien an, die sich bereits alle an der kathodischen Elektrodenleiste angesammelt haben. Nach VERWORN, Allgem. Physiologie.

Strom in die entgegengesetzte Richtung, so daß zur Kathode wird, was vorher Anode war, und umgekehrt, so rückt die ganze Schar in einheitlichem Haufen wieder nach der gegenüberliegenden Seite hinüber und bildet, wie vorher, eine Ansammlung an der Kathode.“ Das Experiment kann beliebig oft wiederholt werden. „Oeffnet man den Strom schließlich, so zerstreut sich die Ansammlung von der Kathode her und die Paramäcien verteilen sich wieder gleichmäßig in der ganzen Flüssigkeit“ (VERWORN). *Paramecium* ist also kathodisch-galvanotaktisch, und das gleiche gilt, wenigstens bei schwachen Strömen, als Regel für die Mehrzahl der Ciliaten; *Opalina* schwimmt jedoch gerade umgekehrt bei schwachen Strömen zur Anode und nur bei starken zur Kathode und *Spirostomum* stellt sich in der Regel quer zur Stromrichtung. Von Flagellaten schwimmt dagegen eine große Zahl ähnlich wie *Opalina* bei nicht zu starkem Strome zur Anode (z. B. *Polytoma*, *Cryptomonas*, *Chilomonas*), einige freilich zur Kathode (z. B. *Trachelomonas*, *Peridinium*), während *Euglena viridis* eine Reaktion auf den galvanischen Strom gänzlich vermissen läßt. Auf den ersten Blick scheint also die galvanotaktische Reaktion ziemlich regellos zu sein, indessen beruht dies offenbar auch in den Fällen, wo der positive Nachweis noch fehlt, nur auf Verschiedenheiten der Organisation.

Bei den Flagellaten beruht die Galvanotaxe, soweit bekannt, in ähnlicher Weise wie die bisher besprochenen Orientierungen auf andere Reize, auf typischen Fluchtreaktionen (JENNINGS 1910). Bei den Ciliaten kommt sie dagegen auf wesentlich andere, direktere Weise zustande. Schon LUDLOFF (1895) stellte für *Paramecium* fest, daß bei Erregung durch den galvanischen Strom nur an der der Anode zugewandten Körperhälfte die Wimpern wie bei der normalen Vorwärtsbewegung in

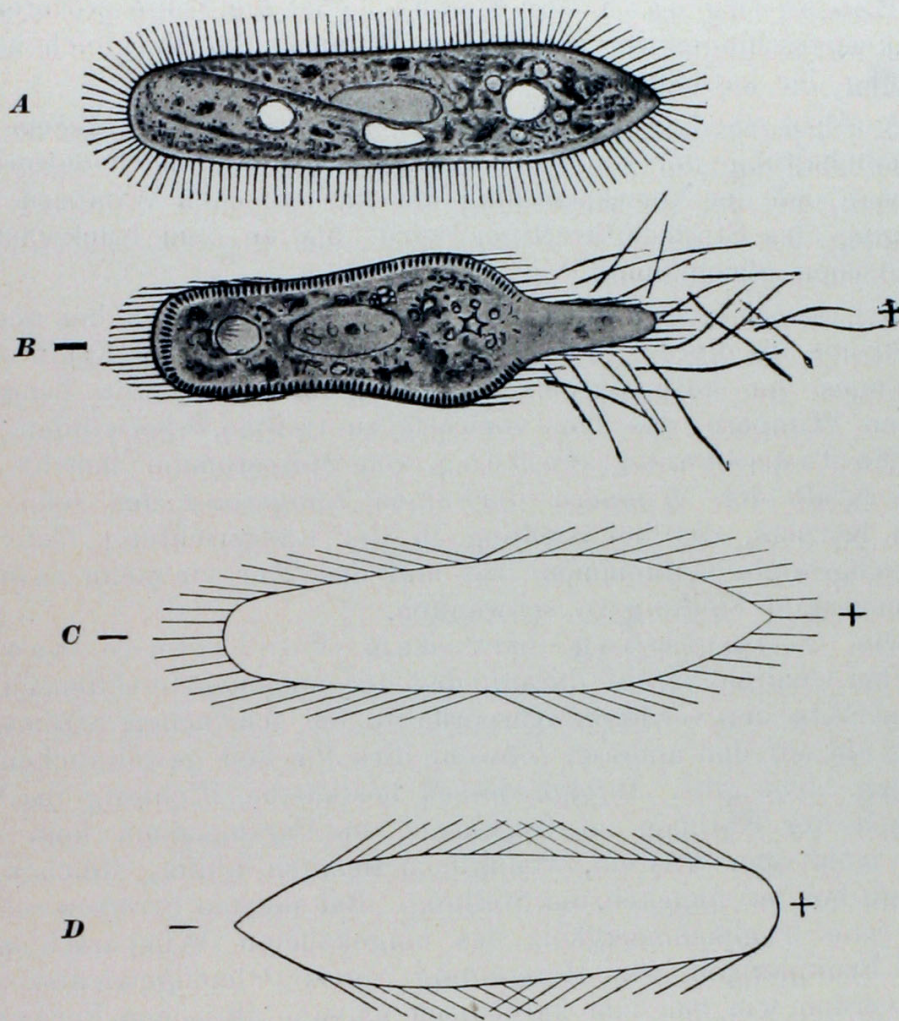


Fig. 130. Elektrische Erregungserscheinungen bei *Paramecium aurelia* MÜLL., schematisch. *A* Ungereiztes Individuum. *B* Wirkung eines starken Stromes: das der Anode zugewandte Ende (hier das Hinterende, vgl. *C*) hat sich zipfelförmig zusammengeschnürt und seine Trichocyten ausgestoßen (nach LOEB und BOUDGETT [1898] sekundäre Zerstörungerscheinung infolge der Elektrolyse des Mediums, bei der Stoffe entstehen, die die abgebildeten Veränderungen bei dem Infusor hervorrufen; Zusatz eines Tropfens 0,1-proz. Lösung von NaHO zu der Flüssigkeit des Deckglaspräparates ruft z. B. genau dieselben Erscheinungen hervor). *C* und *D* Schwinglage der Wimpern; in *C* ist das Vorderende der Kathode, in *D* der Anode zugewandt; in beiden Fällen schlagen in derjenigen Körperhälfte, die der Anode zugewandt ist, die Wimpern in normaler Weise nach hinten, in der anderen, der Kathode zugewandten Körperhälfte dagegen in umgekehrter Richtung nach vorne zu. Nach LUDLOFF 1895.

der Richtung nach dem Hinterende zu schlagen, daß sie dagegen an der der Kathode zugewandten Körperhälfte in umgekehrter Richtung (vorwärts) schlagen (Fig. 130). Der verschiedenartige lokomotorische Effekt dieser für den elektrischen Strom charakteristischen lokalen Umkehr des Wimperschlages hängt ab von der Anordnung der Wimpern und der Stärke ihres Schlages an verschiedenen Körperstellen. Die bei ver-

schiedener Stromstärke und bei verschiedenen Arten zu beobachtenden Erscheinungen können nach ihren Ursachen folgendermaßen eingeteilt werden:

a) Bei der Orientierung des Vorderendes nach der Kathode spielt neben der Richtung des Wimperschlaes die gewöhnliche Tendenz der Organismen, bei Reizung nach einer bestimmten, und zwar durch die Struktur bestimmten Seite zu drehen, eine wichtige Rolle.

b) Bewegung nach der Kathode ist die Folge größerer Stärke des Rückwärtsschlages der anodischen Wimpern im Vergleich zum Vorwärtsschlag der kathodischen.

c) Aufhören der Vorwärtsbewegung bei stärkerem Strome, unter Beibehaltung der nach der Kathode gerichteten Orientierung beruht darauf, daß der Vorwärtsschlag der kathodischen Wimpern mit der Verstärkung des Stromes kräftiger wird, bis er dem Rückwärtsschlag der anodischen gleichkommt.

d) Rückwärtsschwimmen nach der Anode bei noch stärkerem Strome ist die Folge fortgesetzter Steigerung der Kraft des Vorwärtsschlages der kathodischen Wimpern, so daß sie die Tendenz der anodischen Wimpern, das Tier vorwärts zu treiben, überwinden.

e) Die Transversalstellung von *Spirostomum* beruht auf der größeren Kraft der Wimpern der einen Längsseite des sehr langgestreckten Körpers, die bei Stellung in der Längsrichtung des Stromes kein Gleichgewicht aufkommen läßt und das Tier vielmehr zwingt, um eine transversale Stellung zu schwanken.

f) Die Orientierung mit dem Vorderende nach der Anode bei *Opalina* beruht darauf, daß der umgekehrte Cilienschlag auf der einen Seite der vorderen Körperhälfte bei schwachen Strömen kräftiger ist als auf der anderen (obwohl dies für den gewöhnlichen Rückwärtsschlag nicht gilt). Infolge dessen besteht bei Richtung des Vorderendes nach der Kathode im Gegensatz zu *Paramecium* kein Gleichgewicht; wohl aber tritt ein, wenngleich ziemlich labiler, Gleichgewichtszustand ein bei der umgekehrten Stellung. Bei starken Strömen schwindet dagegen jene Ungleichmäßigkeit des umgekehrten Wimperschlaes, so daß die Bedingungen für Herstellung eines Gleichgewichtszustandes ähnlich werden wie bei dem kathodisch galvanotaktischen *Paramecium*.

Hinsichtlich weiterer Einzelheiten sowie auch der theoretischen Erklärung der galvanotaktischen Erscheinungen sei vor allem auf WALLENGREN (1902), STATKEWITSCH (1903), BANCROFT (1906) und JENNINGS (1910) verwiesen.

6. Röntgen- und Radiumstrahlen. Der Einfluß von Röntgenstrahlen auf Ciliaten wurden zuerst von SCHAUDINN (1899) untersucht bei dem heterotrichen *Spirostomum ambiguum* EHRENBURG. Nach 4—5 Stunden zeigte sich Verlangsamung der Bewegung, nach 6 Stunden sinken die Tiere auf den Boden, die Wimperbewegung hört schließlich auf und die Tiere sterben im ausgestreckten Zustand ab, nachdem ihr langgestreckt-perlschnurförmiger Kern in einzelne Teile zerfallen ist. Entsprechende Veränderungen fand ZÜLZER (1905) bei der gleichen Art auch nach Radiumbestrahlung, nur machte sich deren Einfluß langsamer geltend: nach 24-stündiger Bestrahlung noch keine Veränderung, nach 36-stündiger starke Verlangsamung der Bewegung und klumpiger Zerfall des Kernes, nach 3—4-tägiger Bestrahlung keine Reaktion mehr auf mechanische Reize, nach 5—6-tägiger Zerfall der Tiere; Teilung der

Tiere unterbleibt, wenn bei Beginn der Bestrahlung die Kerne noch ungeteilt waren. Spezifisch, wie dies nach den ersten Beobachtungen scheinen konnte, ist diese Reaktion aber ebenso wenig wie die „Fluchtreaktion“, denn ganz ähnliche Verhältnisse wie bei Radiumbestrahlung zeigt *Spirostomum* auch, wenn es einige Zeit Hunger und Kälte ausgesetzt wurde; in diesen beiden Fällen konnte freilich nach Herstellung normaler Bedingungen eine Regeneration erfolgen, die nach Radiumbestrahlung noch nicht verfolgt werden konnte. — *Paramaecium* reagiert nach ZÜLZER auf Radiumbestrahlung auch in ähnlicher Weise: anfangs schwimmt es sehr lebhaft und unruhig umher (offenbar Fluchtreaktion!), später werden die Bewegungen verlangsamt, auch die Pulsationen der stark vergrößerten kontraktilen Vakuole erfolgen langsamer, und schließlich folgt unförmige Aufquellung, Zerplatzen und Zerfließen des Körpers; bei Luftabschluß (unter mit Paraffin verschlossenem Deckglase) erfolgen diese Veränderungen wesentlich rascher wie im offenen Glasring.

Das tägliche Leben von *Paramaecium* gestaltet sich nach JENNINGS (1910) auf Grund der vorstehend besprochenen Reizbarkeit und der wenigen automatischen Reaktionen, die nur scheinbar willkürliche Bewegungen, Auffinden von Bakterienhaufen auf verhältnismäßig große Entfernungen u. dgl. vortäuschen, etwa folgendermaßen:

„Ein einzelnes Tier schwimmt frei in einer Pfütze umher und beginnt, wenn kein anderer Reiz einwirkt, auf die Veränderungen der Verteilung seiner Inhaltskörper zu reagieren, weil es noch nicht zur Schwerkraft orientiert ist. Es probiert verschiedene neue Stellungen, bis sein Vorderende aufwärts gerichtet ist, und schwimmt dann in dieser Richtung weiter. So kommt es an den Wasserspiegel. Hier reagiert es mit einer Fluchtbewegung, findet eine neue Stellung und schwimmt in der Nähe der Wasseroberfläche dahin. Jetzt erfolgt eine starke mechanische Erschütterung — es hat vielleicht jemand einen Stein ins Wasser geworfen —; das Infusor fährt zurück, versucht bestimmte neue Richtungen und verhält sich schließlich zur Schwerkraft umgekehrt wie vorher; denn es schwimmt jetzt abwärts. Dadurch kommt es aber bald in Wasser, in dem es merklich an Sauerstoff mangelt. Auf diese Veränderung reagiert es wie vorher, indem es neue Richtungen ausprobiert, bis es wieder in die Nähe der Oberfläche kommt. Wenn es hier weiter schwimmt, nähert es sich einer Stelle, wo die Sonne stark in den Tümpel hineingeschienen und das Wasser erwärmt hat. Das *Paramaecium* bekommt etwas von diesem erwärmten Wasser mit der Strömung, die vom Vorderende am Peristomfeld hinabzieht. Daraufhin hält es inne, schwingt sein Vorderende im Kreise herum, und da es findet, daß das Wasser, welches aus einer der probierten Richtungen kommt, nicht so warm ist, so schwimmt es in dieser Richtung vorwärts. Dieser Kurs führt es vielleicht in die Gegend eines frischen Pflanzenstengels, der kurz vorher abbrach und ins Wasser fiel. Der hervorströmende Pflanzensaft verändert merklich die chemische Zusammensetzung des Wassers, und das *Paramaecium* bekommt bald etwas von diesem veränderten Wasser in seinen Wimperstrom. Wiederum hält es inne, oder wenn der chemische Reiz stark wirkte, so schwimmt es ein Stückchen rückwärts. Dann schwingt es wieder sein Vorderende im Kreise herum, bis es eine Richtung findet, aus der es nichts mehr von diesem Stoffe erhält, und schwimmt in dieser Richtung vorwärts.

„Nach einiger Zeit gerät unser Tier an ein verwelktes und aufgeweichtes Blatt. Anfangs fährt es etwas zurück, geht dann aber

wieder vor und setzt sich an dem Blatte fest. Die Körperwimpern halten in ihrer Bewegung inne, während die oralen Cilien einen starken Wasserstrom zum Munde strudeln. Nun trifft es sich, daß dieses Blatt erst kurz vorher ins Wasser gefallen ist, und daher noch keine Bakterien daran sitzen, so daß das *Paramaecium* also nichts zu fressen bekommt; trotzdem probiert es das Tier eine Zeit lang. Andere *Paramäcien* mögen sich gleichfalls dort versammeln, aber nach einiger Zeit verlassen sie eins nach dem anderen das verwelkte Blatt. Wieder schwimmt unser *Paramaecium* umher und läßt sich dabei von den wechselnden Verschiedenheiten in der chemischen Zusammensetzung oder Temperatur des Wassers hierhin oder dorthin treiben, bis es an eine Stelle kommt, die mehr Kohlensäure in Lösung enthält als sonst. Es gibt kein Anzeichen von sich, daß es dies bemerkt hat, außer daß es vielleicht etwas weniger energisch weiter schwimmt als vorher. Die kohlensäurehaltige Zone ist klein, und bald kommt das Tier an ihre äußere Grenze, wo das Wasser, das in seinen Mund hineinstrudelt, keine Kohlensäure enthält. Es hält an und probiert verschiedene Richtungen, indem es sein Vorderende im Kreise herumschwingt, bis es von neuem eine Richtung findet, von wo es Kohlensäure bekommt, und in dieser schwimmt es wieder vorwärts. Da es sich jedesmal, wenn es an die äußere Grenze der Kohlensäure kommt, ebenso verhält, so bleibt es innerhalb dieser Zone, indem es nur immer hin und her schwimmt und sie mit der Zeit sehr gründlich durchforscht. Endlich stößt es auf die Quelle der Kohlensäure — eine große Masse in Zoogloea eingebetteter Bakterien, die diese Substanz abgeben. Das Infusor setzt sich an der Zoogloeamasse an, hört mit der Bewegung seiner Körperwimpern auf und führt einen starken Wasserstrom entlang dem Peristomfelde zum Munde. Dieser Strom macht einige der Bakterien von der Zoogloea los und führt sie mit sich in den Mund hinein, wo sie verschlungen werden. Während das Tier nun so beschäftigt ist, können andere *Paramäcien* bei ihren plötzlichen Bewegungen dagegen anstoßen. Jetzt reagiert es aber auf derartige Erschütterungen gar nicht; es bleibt vielmehr an seinem Platze und beschäftigt sich mit der Nahrungsaufnahme. Wenn das Tier eine Zeitlang so dagesessen hat, fängt die Sonne an, stark auf diesen Teil des Tümpels zu scheinen und das Wasser zu erwärmen. Alle freien *Paramäcien* an dieser Stelle fangen an, schnell herumzuschwimmen, wiederholt zurückzukehren und neue Richtungen zu probieren, bis eine nach kühleren Stellen führende Richtung gefunden ist. Unser *Paramaecium* aber, das noch immer von seiner Nahrungsaufnahme in Anspruch genommen ist, reagiert überhaupt nicht auf die Erwärmung. Das Wasser wird wärmer und wärmer, und nach einiger Zeit bewegt sich unser Infusor ein wenig, indem es herumdreht oder seine Stellung wechselt, doch immer noch an der Zoogloea sitzen bleibt.

Alle freien *Paramäcien* haben längst die Gegend verlassen. Wie das Wasser immer wärmer wird, verläßt unser Tier ganz plötzlich die Zoogloeamasse und stürzt jetzt unter der Einwirkung der großen Wärme wie toll umher. Erst schwimmt es rückwärts, dann wieder vorwärts, und es probiert eine Richtung nach der anderen. Glücklicherweise führt es eine dieser Richtungen bald in eine kühlere Gegend. In dieser Richtung schwimmt es weiter und sein Verhalten wird geordneter; es schwimmt jetzt, wie anfangs, ganz ruhig umher, bis es einen anderen Bakterienhaufen findet und wieder mit der Nahrungsaufnahme beginnt.“

Merotomie. Untersuchungen über das Regenerationsvermögen der Infusorien (besonders an *Stentor* angestellt) haben gezeigt, daß abgeschnittene Bruchstücke des lebenden Körpers niemals sich zu vollständigen Tieren regenerieren, wenn sie nicht wenigstens ein Bruchstück des Makronucleus enthalten. *Paramaecium* hat ein geringes Regenerationsvermögen. Nach BALBIANI (1893) können kernlose Stücke unter Umständen noch Nahrung aufnehmen, vermögen sie aber nicht zu verdauen; kernhaltige aber behalten das Vermögen der Verdauung bei. Nach CALKINS (1911) stirbt ein verhältnismäßig sehr großer Teil der durch Zerschneiden gewonnenen Bruchstücke von *Paramaecium* innerhalb von 24 Stunden ab, darunter alle, bei denen der Makronucleus verletzt wurde; das Regenerationsvermögen ist bei verschiedenen Rassen verschieden entwickelt und wenn ein lebend gebliebenes Bruchstück, das das abgeschnittene Vorder- oder Hinterende nicht regeneriert hat, sich teilt, so liegt die Teilungsebene an der normalen Stelle und es resultiert ein normales Tochterindividuum und ein abnormes mit einer dem abgeschnittenen Stück entsprechenden Defektbildung. Wegen weiterer Einzelheiten muß auf die Arbeit von CALKINS selbst verwiesen werden. Im Anschluß hieran sei jedoch noch angeführt, daß nach anderen Versuchen von CALKINS (1911) das Regenerationsvermögen der heterotrichen *Uronychia* abhängig ist von dem Alter des Tieres: sehr gering unmittelbar nach einer Teilung, in der Folgezeit allmählich größer werdend und verhältnismäßig am größten, wenn das Tier sich wieder zu einer Teilung anschickt.

Fortpflanzung. Die einzige bekannte Art der Fortpflanzung von *Paramaecium* ist die durch Querteilung im beweglichen Zustande. Teilung im ruhenden (encystierten) Zustande, wie sie bei manchen anderen Infusorien vorkommt, ist bei *Paramaecium* nie beobachtet worden, obschon *Paramaecium* zu den häufigsten, oft und genau beobachteten Formen gehört.

Der Teilungsvorgang verläuft bei der als *Paramaecium aurelia* bezeichneten Form mit zwei Kleinkernen in der Hauptsache folgendermaßen (Fig. 131 und 132): die ersten Veränderungen treten an den beiden Mikronuclei und am Cytopharynx auf. Die ersteren schicken sich zur Teilung an in einer Form, die infolge des Auftretens fadenförmiger „Chromosomen“ trotz des Fehlens von Centrosomen lebhaft an eine Mitose erinnert und für die der Hinweis auf die Abbildungen genügen mag. Das Cytostom verlängert sich bei gleichzeitigem Undeutlichwerden des Peristomfeldes nach hinten und bekommt die Form einer Spalte, deren vorderes und hinteres Ende erweitert sind, das vordere, dem alten Cytostom entsprechende stärker als das hintere, welches die Anlage des neuen Cytostoms darstellt¹⁾. Der Cytopharynx bildet nach hinten eine sackförmige Ausbuchtung, die erste Anlage eines neuen Cytopharynx. Während also der alte Cytopharynx sich erhält und zum Schlunde des vorderen Tochtertieres wird, ist der Schlund des hinteren Tochtertieres ein Abkömmling, gewissermaßen eine Knospe des alten Cytopharynx. In ihm tritt alsbald eine neue undulierende Membran auf, während die alte sich im alten Cytopharynx erhält. Das Cytostom schließt sich sodann in seinem mittleren, spaltförmig verengerten Teile, wodurch das neue

1) Vgl. aber hierzu auch den später folgenden Abschnitt über die Teilung der Protozoen.

hintere Cytostom sich vollständig vom vorderen alten trennt. Beide führen noch eine kurze Zeit lang in einen ungeteilten Cytopharynx, von dem sich aber bald die sackförmige Anlage des hinteren neuen Cytopharynx abschnürt, unter Ausbildung einer Sanduhrform und folgendem Schwunde des Verbindungsstückes. (Die Einzelheiten des Verhaltens von Cytostom und Cytopharynx bei der Teilung sind erneuter Untersuchung mit Hilfe moderner Methoden bedürftig.)

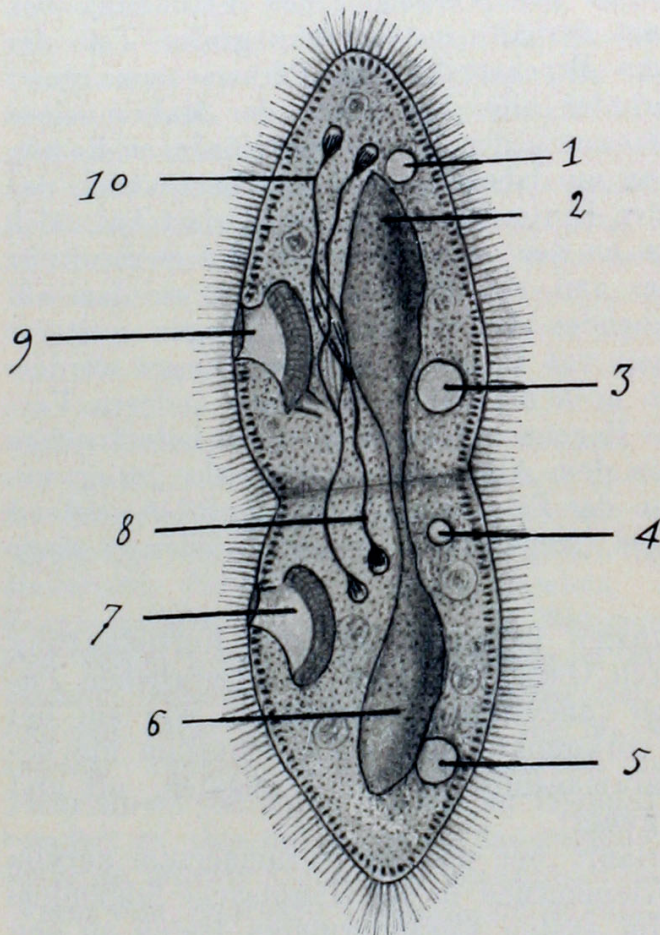


Fig. 131.

des sich teilenden Großkernes, 7 Cytopharynx des hinteren Tochtertieres, durch Knospung von dem vorderen (9) abgeschnürt, 8 und 10 mitotische Teilung der beiden Kleinkerne, 9 Cytopharynx des vorderen Tochtertieres, aus demjenigen des Muttertieres direkt hervorgegangen. Von LANG kombiniertes Bild.

Fig. 132. **A** *Paramecium caudatum*. Teilungsstadium des Mikronucleus, nach HERTWIG 1895. **B** und **C** *Param. aurelia*. Cytostom und Cytopharynx in zwei Stadien während der Teilung des Tieres. 1 alter Cytopharynx, aus welchem der neue Cytopharynx (2) des hinteren Tochtertieres sich durch Knospung abschnürt, 3 hinterer Mundwinkel des spaltförmig verlängerten Cytostoma; aus ihm geht das Cytostoma des hinteren Tochtertieres hervor, 4 vorderer Mundwinkel desselben, aus dem das Cytostoma des vorderen Tochtertieres hervorgeht. Nach HERTWIG 1889.

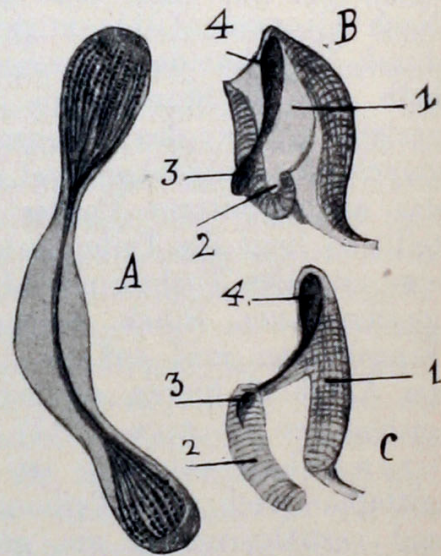


Fig. 132.

Fig. 131. **Paramecium aurelia** MÜLL. Querteilung. 1 neue pulsierende Vakuole im vorderen Tochtertier, 2 vordere Hälfte des sich amitotisch teilenden Großkernes, 3 vordere pulsierende Vakuole des Muttertieres (hintere des vorderen Tochtertieres), 4 neu aufgetretene vordere pulsierende Vakuole des hinteren Tochtertieres, 5 hintere pulsierende Vakuole des Muttertieres (und auch des hinteren Tochtertieres), 6 hintere Hälfte

Inzwischen ist die Mitose der beiden Mikronuclei so weit gediehen, daß sie lange, den Körper in der Längsrichtung durchziehende Fäden darstellen, die am vorderen und hinteren Ende knopförmig verdickt sind. Jede der beiden Verdickungen enthält die Hälfte der chromatischen Substanz des Mikronucleus. Das achromatische, lang ausgezogene Verbindungsstück ist faserig differenziert. Jetzt fängt auch der Makronucleus an sich in die Länge zu strecken und an der Ventralfläche des Tieres beginnt eine Ringfurche, die

Teilungsfurche, von der Oberfläche in die Tiefe des Körpers einzuschneiden. Die Cytostomata rücken noch weiter auseinander und stellen sich in die ventrale Mittellinie ihrer respektiven Körperhälften ein.

Die Teilungsfurche breitet sich rings um den Körper aus und schneidet immer tiefer ins Körperinnere ein. Das Verbindungsstück zwischen den beiden Teilstücken eines jeden Mikronucleus verschwindet, so daß die Teilstücke als Tochtermikronuclei ganz selbständig werden. Der Makronucleus wird zuerst stabförmig, dann schnürt er sich in der Mitte der Länge ein. Schließlich hängt der vordere Teil mit dem hinteren nur durch einen dünnen Verbindungsfaden zusammen, und wenn dieser zerreißt, ist auch die unter dem Bilde einer direkten amitotischen Durchschnürung erfolgende Teilung des Makronucleus vollendet. Die vordringende Ringfurche zerteilt den Körper nun vollständig in die beiden Tochtertiere. Beide haben ihr Cytostom und ihren Cytopharynx und jedes ist auch wieder mit einem Makronucleus und zwei Mikronuclei ausgestattet, den Teilprodukten der entsprechenden Teile des Muttertieres.

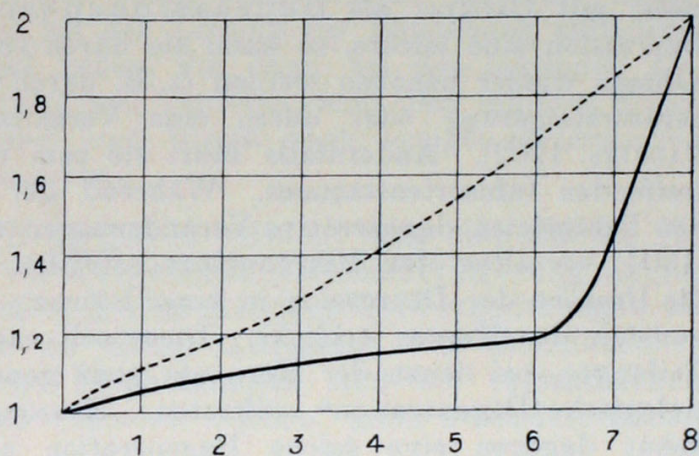
Was die pulsierenden Vakuolen anbelangt, so tritt während des Teilungsvorganges vor jeder der beiden alten eine neue auf, so daß bei vollendeter Teilung jedes Tochtertier wieder zwei Vakuolen hat, eine der beiden alten und eine neu gebildete.

Das Wimperkleid des Muttertieres geht direkt in das der beiden Tochtertiere über.

Der ganze Teilungsvorgang spielt sich bei *Paramecium aurelia* in ca. 2 Stunden ab und unter günstigen Ernährungsbedingungen wachsen die Tochtertiere rasch zur Größe des Muttertieres heran, um sich bald wieder von neuem durch Teilung zu vermehren.

Bei dem normalen Ablauf der Teilung spielt die Kernplasma-relation (HERTWIG), d. h. das Massenverhältnis von Kern und Plasma eine wichtige Rolle. Während das Plasmavolumen des eben aus einer Teilung hervorgegangenen *Paramecium* bis zu dessen nächster Teilung

Fig. 133. **Wachstums-**
kurve des Plasmakörpers
(unterbrochen) und des Kernes
(ausgezogen) von *Paramecium*
caudatum zwischen zwei auf-
einander folgenden Teilungen.
Auf der Abszisse ist die Zeit
in Stunden, auf der Ordinate
sind die relativen Wachstums-
größen eingetragen. Nach
POPOFF 1909.



ziemlich gleichmäßig zunimmt, ist die Zunahme des Kernvolumens anfänglich eine wesentlich geringere (funktionelles Kernwachstum), um erst ziemlich kurz vor der neuen Teilung um so rapider zu erfolgen (Teilungswachstum des Kernes); beide Volumina erreichen dann gleichzeitig das Doppelte des ursprünglichen Maßes (Fig. 133). Diese Veränderungen der Kernplasmarelation zwischen je zwei Teilungen scheinen

ganz gesetzmäßig zu sein, wie denn überhaupt HERTWIG dieser Relation und ihren Veränderungen eine grundlegende Bedeutung für den Ablauf der Lebensvorgänge der Protozoen wie überhaupt aller Zellen zuschreibt: das anfangs raschere Wachstum des Plasmas führt zu einer „Kernplasmaspannung“, die nach HERTWIG durch das Teilungswachstum des Kernes ausgeglichen werden muß und sonach in ursächlicher Beziehung zu der sich anschließenden Teilung steht. Bleibt infolge von Störungen des Stoffwechsels die Kernplasmaspannung aus, so verlieren die Infusorien die Fähigkeit sich zu teilen und fallen schließlich, wenn nicht noch wieder eine Regulation der Kernplasmarrelation durch Abstoßung von Kernteilen erfolgt, dem Untergange anheim. Eine derartige krankhafte Störung tritt sowohl bei Ueberfütterung auf infolge eines krankhaft gesteigerten Kernwachstums wie auch im Hungerzustande, der zu starker Abnahme der Plasmamenge führt, derart daß unter Umständen das Plasma schließlich nur noch einen vergleichsweise dünnen Mantel um den nicht verkleinerten, oft sogar noch hypertrophisch gewordenen Kern bildet.

Die Geschwindigkeit der Vermehrung ist bei verschiedenen Infusorienarten verschieden; so teilt sich z. B. *Paramecium caudatum* zweimal rascher wie *Frontonia leucas*. Sie ist ferner abhängig von der Temperatur; so teilt sich z. B. unter günstigen Umständen *Paramecium caudatum* in 24 Stunden bei einer Temperatur von 15 bis 17° C durchschnittlich einmal, bei 17—20° C zweimal, bei 25° C dreimal und bei 31,5° C viermal (JOUKOWSKÝ 1898, POPOFF 1909, SUN 1912; über Veränderungen der Kernplasmarrelation unter dem Einfluß der Temperatur vgl. RAUTMANN 1909). Drittens ist die Vermehrungsgeschwindigkeit noch abhängig von dem Stoffwechsel der Tiere, und hiermit hängt es zusammen, daß sie bei dauernder Weiterzucht einer Kultur nicht ständig gleich bleibt. Auf Perioden starken Wachstums und lebhafter Vermehrung folgen andere, in denen Wachstum und Vermehrung wesentlich geringer sind oder gar vollständig pausieren. MAUPAS hatte deswegen von seniler Degeneration der Kulturen gesprochen; heute werden die Zeiten verminderter oder ganz unterbleibender Vermehrung meist mit CALKINS als Depressionsperioden bezeichnet. Ist die Depression eine leichte, so kann sie durch verhältnismäßig einfache Maßnahmen wieder behoben werden (z. B. durch Schütteln, durch eine Temperatursteigerung oder durch eine Veränderung der Ernährung, vgl. CALKINS 1902). Andernfalls führt sie zum völligen Aussterben des betreffenden Infusorienstammes. Während der Depression lassen sich an den Paramäcien degenerative Veränderungen erkennen, die nach CALKINS (1904) vor allem den Mikronucleus betreffen können, während HERTWIG die Ursache der Depression in einer Störung der Kernplasmarrelation zugunsten des Kernes erblickt. Diese soll nach einer größeren Zahl von Teilungen, bei denen der Kern nie ganz genau halbiert wird, als „physiologische Degeneration“ auftreten. ENRIQUES (1903, 1905, 1908) erkennt dagegen eine solche Degeneration aus inneren Ursachen, ein „Altern“ der Infusorien im Laufe aufeinander folgender Generationen nicht an und führt die in Kulturen beobachteten Depressionen auf Schädigung der Infusorien durch ungünstige Kulturbedingungen, Stoffwechselprodukte, Bakterien, Toxine u. dgl. zurück. Er verweist dieserhalb auch auf die Erfahrungen von CALKINS (1902), in dessen Paramäcienzuchten Depressionen stets dann eintraten, wenn die Kulturen mehrere Tage nicht kontrolliert worden waren. WOODRUFF (1911) konnte *Paramecium*

aurelia bei wechselnder Ernährung dauernd weiterzüchten, ohne daß die zeitweise aufgetretenen Depressionszustände zu einer ernststen Schädigung der Kultur führten und ohne daß Neigung zur Konjugation auftrat (vgl. hierzu S. 127); indem täglich die durch Teilung entstandenen Individuen isoliert wurden, gelang es WOODRUFF in $3\frac{1}{2}$ Jahren 2000 bzw. in 5 Jahren (1. Mai 1907 bis 22. Mai 1912) 3064 Generationen des Parameciums zu züchten.

Die Leichtigkeit, mit der sich die Paramäcien in Uhrschälchen züchten lassen, hat auch Untersuchungen über Vererbung bei ihnen veranlaßt (JENNINGS 1908—1911). Hierbei ergaben sich ähnliche Resultate, wie sie JOHANNSEN bei höheren Pflanzen erzielt hat. Ein aus einem Tümpel oder dgl. gewonnener „wilder“ Paramäcienstamm stellt eine gemischte „Population“ dar, die aus einer größeren Zahl von „reinen Linien“ (erblichen Rassen) besteht. Aus einer derartigen Population hat z. B. JENNINGS acht reine Linien isoliert, die von je einem einzigen Individuum abstammten und sich in Länge und Breite deutlich voneinander unterschieden. Wohl ist auch innerhalb jeder dieser reinen Linien die Größe der Paramäcien noch nichts weniger wie konstant, aber diese Verschiedenheiten innerhalb der reinen Linien sind abhängig von dem Alter des einzelnen Individuums, das ja zwischen den beiden seine Dauer begrenzenden Teilungen ein Wachstum durchmacht, sowie von äußeren Einflüssen, besonders von der Ernährung (Veränderung der Ernährung konnte binnen einer Woche zu einer Zunahme der Länge von 146 auf 191 μ und der Breite von 31 auf 54 μ führen) und sind nicht erblich. Die Durchschnittswerte bleiben dagegen innerhalb jeder reinen Linie während der aufeinander folgenden Generationen in sehr bemerkenswerter Weise konstant.

Abnorm gestaltete Paramäcien sind nicht selten. Derartige Abnormitäten sind aber nicht (bzw. nur in einem ihrer Lokalisation entsprechenden geringen Grade) erblich. Ein abnorm stumpfes Vorderende z. B. wird nur auf das vordere, ein ebensolches Hinterende nur auf das hintere Tochttertier übertragen und beide Abnormitäten werden im Laufe weniger Generationen völlig ausgeglichen. Abnorme Krümmungen des Körpers können bei der Teilung zur Entstehung auffälliger kegelförmiger Anhänge Anlaß geben, die dann bei den folgenden Teilungen je nach ihrem Sitz bald dem vorderen, bald dem hinteren Sprößling zugeteilt werden, um aber auch wieder nach wenigen Generationen ausgeglichen zu werden (JENNINGS).

Konjugation. Unter Konjugation versteht man eine für die Infusorien charakteristische vorübergehende Aneinanderlagerung zweier Individuen, während deren sich charakteristische Veränderungen an den Kernen abspielen, die zu einem Austausch von chromatischer Kernsubstanz führen. Diese Erscheinungen sind bei verschiedenen Infusorienformen eingehend studiert worden, ganz besonders genau bei Paramecium.

Verlauf der Konjugation bei Paramecium caudatum mit einem Mikronucleus (vgl. Fig. 134—136). Zwei Individuen (Konjuganten) legen sich mit der Bauchfläche, Mund gegen Mund, der Länge nach aneinander. In jedem tritt der Mikronucleus in mitotische Teilung (Fig. 134, 1—2) und die beiden Tochttermikronuclei teilen sich in gleicher Weise noch einmal (Fig. 134, 3), so daß jeder Konjugant vier Enkelmikronuclei bekommt, die unter sich völlig

gleich, ohne bestimmte Regel im Plasma verstreut sind (Fig. 134, 4). Drei von diesen zerfallen und werden allmählich resorbiert, während

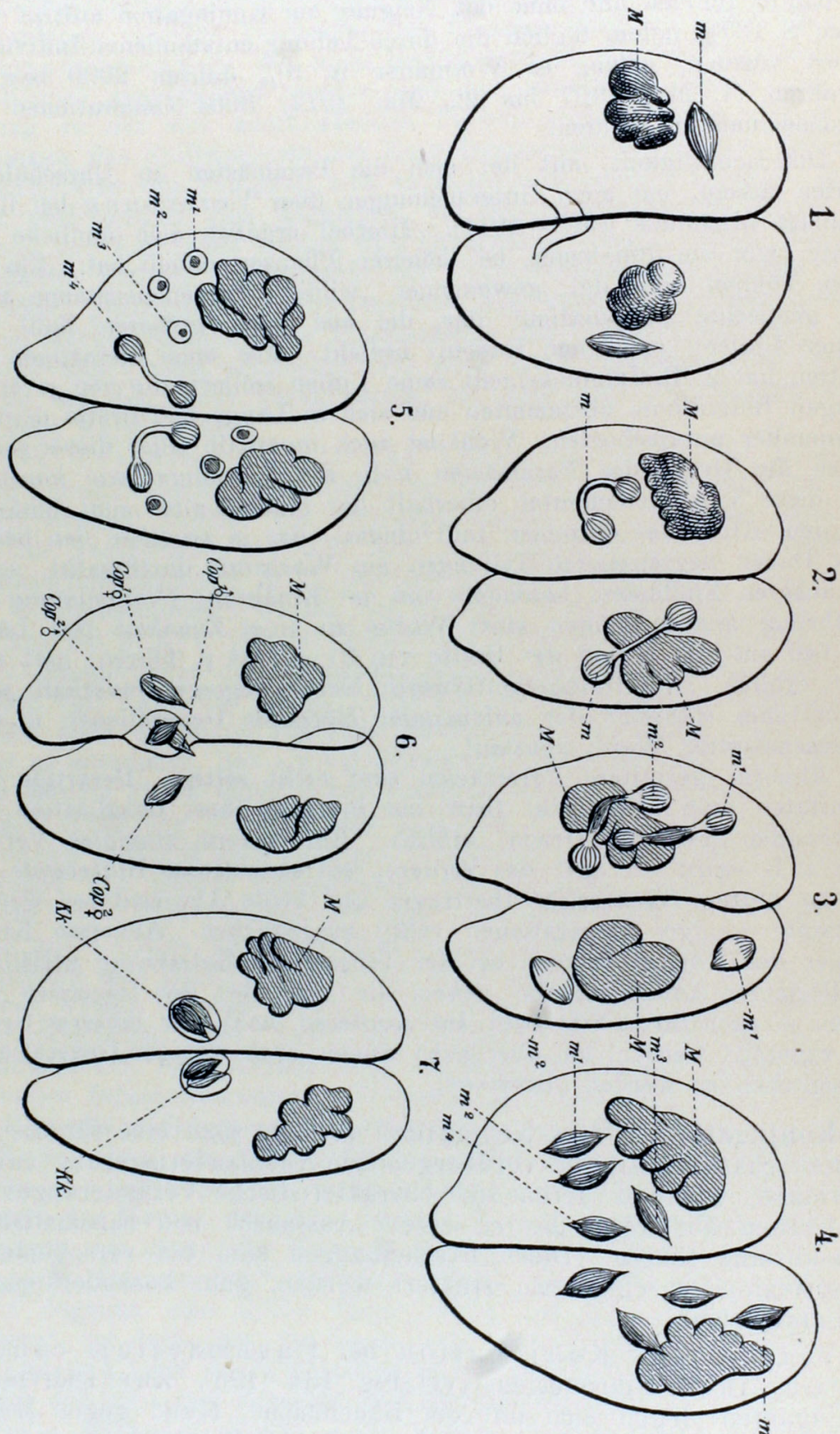


Fig. 134. **Konjugation von Paramecium caudatum.** Cop Geschlechtskerne, und zwar Cop ♀ stationärer Kern, Cop ♂ Wanderkern, Kk Synkaryon, m Mikronucleus, m^1 — m^4 dessen Tochter- und Enkelkerne, M Makronucleus. Frei nach MAUPAS 1889 aus WEISMANN, Amphimixis, 1891.

der vierte sich abermals mitotisch teilt, und zwar ist dies derjenige, der dem Munde zunächst liegt (Fig. 134, 5). Er befestigt sich hierbei mit einem Ende am Ektoplasma dicht vor dem Munde, streckt sich in die Länge und teilt sich mitotisch so, daß der eine seiner Tochterkerne, der männliche Kern oder Wanderkern (Fig. 135, a_2 und b_2) beim Munde bleibt, während der andere, der weibliche oder stationäre Kern (Fig. 135, a_1 und b_1), ins Körperinnere zu liegen kommt. Als morphologischer Unterschied zwischen diesen beiden Kernen ist nur ein geringer Größenunterschied nachweisbar, indem nach CALKINS und CULL (1907) der stationäre Kern 15–19 μ , der Wanderkern dagegen nur 12–17 μ lang ist, wobei die Differenz innerhalb eines Paares zwischen 2 und 6 μ schwankt. Die weitere, zum Teil bereits durch ihre Lage bedingte Rolle beider Kerne ist dagegen insofern eine recht verschiedene, als der stationäre Kern in dem Konjuganten, dem er angehört, zurückbleibt, während der Wanderkern durch die beiden aneinander geschmiegtten Cytostomata in den anderen Konjuganten hinübertritt. Dabei gleitet der Wanderkern des rechtsseitigen Konjuganten immer dicht über denjenigen des linksseitigen hinweg (Fig. 134, 6).

Die cytologischen Einzelheiten spielen sich bei den drei aufeinander folgenden Teilungen des Mikronucleus jedesmal in anderer Weise ab. Hier kann in dieser Beziehung jedoch nur angeführt werden, daß bei den beiden ersten Teilungen die Chromosomen gespalten werden und daher an Zahl unverändert bleiben. Die dritte (letzte) Teilung ist dagegen eine Reduktionsteilung, bei der die Chromosomen je zur Hälfte auf die beiden entstehenden Geschlechtskerne verteilt werden. Näheres siehe bei CALKINS und CULL (1907).

Ist der Austausch der Wanderkerne erfolgt, so verschmilzt der stationäre, zurückgebliebene Kern eines jeden Konjuganten mit dem von dem anderen Konjuganten herrührenden Wanderkern (Fig. 134, 7). Dieser Austausch des Wanderkerns und seine Verschmelzung mit dem stationären Kerne ist das Wesentliche beim Konjugationsvorgange (Karyogamie). Der neue Kern, der so in jedem Konjuganten entsteht (Fig. 135, $a_1 b_2$ und $a_2 b_1$) kann als konjugierter Kern, Frischkern oder Synkaryon bezeichnet werden.

Nach diesem Kernaustausch trennen sich die beiden Paarlinge voneinander und schwimmen ein jeder seiner Wege. Die Trennung erfolgt zuletzt am Munde. Der Cytopharynx, der während der Konjugation verschwunden war, bildet sich wieder, so daß die Exkonjugierten wenige Stunden nach ihrer Trennung wieder Nahrung zu sich nehmen können.

Der Makronucleus bleibt anfangs von den Vorgängen der Konjugation unberührt, läßt aber später eine fortschreitende Deformation erkennen. Nach der Trennung der beiden Konjuganten voneinander zerfällt er dann in kleine rundliche Körperchen, die schließlich resorbiert werden (Fig. 136, A und Q–T).

Nach vollzogener Konjugation beginnt in jedem der beiden „exkonjugierten“ Individuen sofort die Rekonstitution des Kernapparates. Der konjugierte Kern (Synkaryon) teilt sich 3mal hintereinander, und zwar wiederum mitotisch (Fig. 136, A–H). Von

den 8 Kernen, die so entstehen, kommen 4 in den vorderen, 4 in den hinteren Körperteil zu liegen (Fig. 136, *J*). Die 4 vorderen wachsen stark und stellen 4 Makronucleus-Anlagen dar; von den 4 hinteren entwickelt sich dagegen nur einer weiter zu einem neuen Mikronucleus, während die 3 anderen atrophieren und resorbiert werden (Fig. 136, *K–L*).

Auf diesem Stadium der Rekonstitution des Kernapparates (mit 4 Makronucleus-Anlagen und einem Mikronucleus) sind die Exkon-

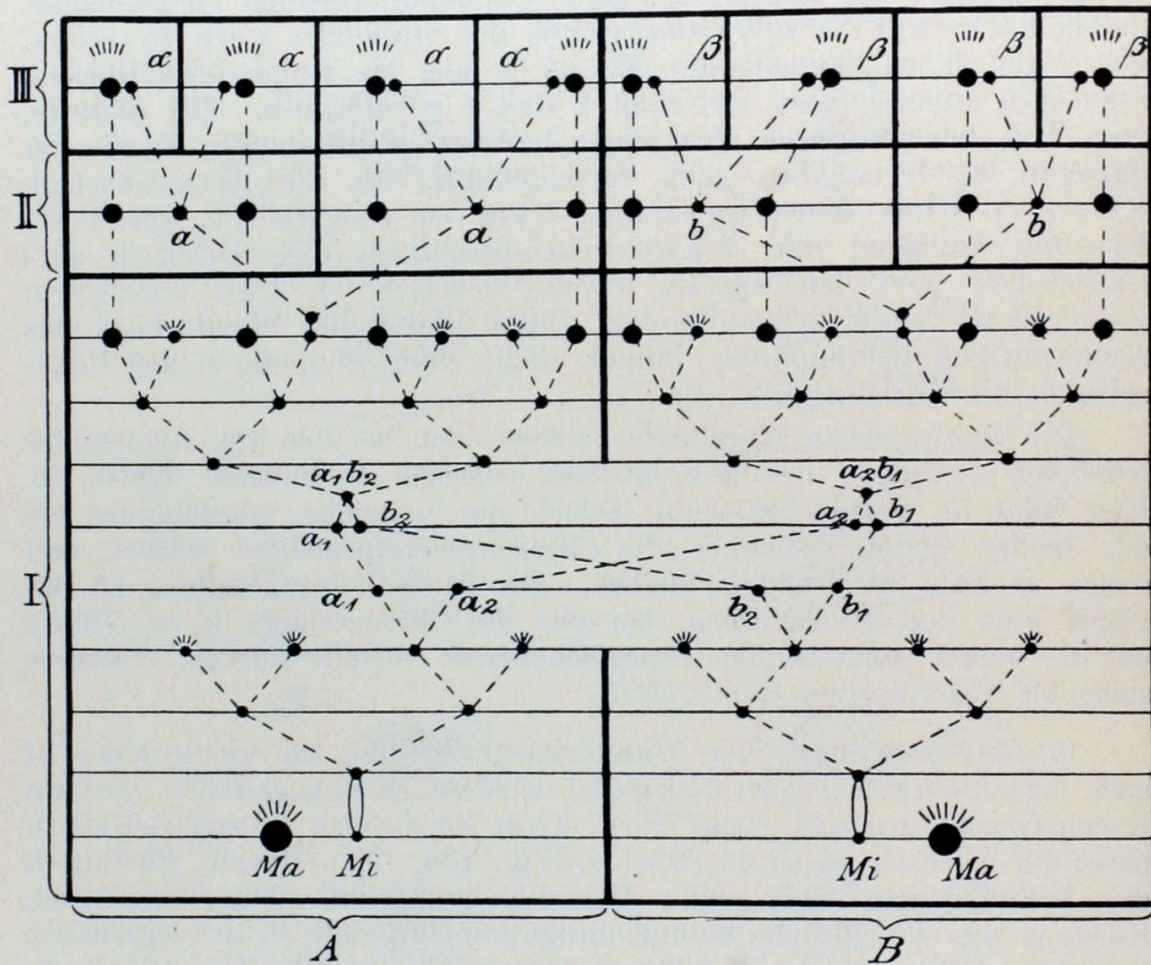


Fig. 135. Schematische Darstellung der Vorgänge am Kernapparat von *Paramecium* während der Konjugation und der dann folgenden Rekonstitution. Die großen Tüpfel bedeuten die Großkerne bzw. deren Anlagen, die kleinen die Kleinkerne und deren Deszendenten. Eine Krone aus Strichelchen über einem Tüpfel bedeutet Zerfall und Schwund des so gekennzeichneten Kernes. *I* die Generation der Konjuganten, *II* deren Tochter- und *III* Enkelgeneration. *AB* Die beiden Konjuganten, *aabb* deren 4 Tochtertiere, *aaaaββββ* die 8 Enkeltiere. *a*₁ stationärer Kern und *a*₂ Wanderkern von *A*, *b*₁ stationärer Kern und *b*₂ Wanderkern von *B*; *a*₁*b*₂ Syngaryon von *A*, *a*₂*b*₁ dasselbe von *B*. *Ma* Großkern und *Mi* Kleinkern der beiden Konjuganten.

jugierten zur ersten Fortpflanzung durch Teilung bereit. Diese tritt bei 25° C und reichlicher Nahrung 24–30 Stunden nach der Trennung ein. Hierbei teilt sich der neue Mikronucleus in der gewöhnlichen Weise; die 4 Großkernanlagen hingegen teilen sich nicht, sondern es gelangen von ihnen je 2 in die beiden Tochterindividuen, deren jedes also einen Kleinkern und 2 Großkernanlagen erhält (Fig. 136, *M–N*; vgl. Fig. 135, *a, a, b, b*). Ca. 20 Stunden nach der ersten folgt die zweite Teilung, bei der sich der Mikronucleus wiederum teilt, während die beiden Großkernanlagen auf die

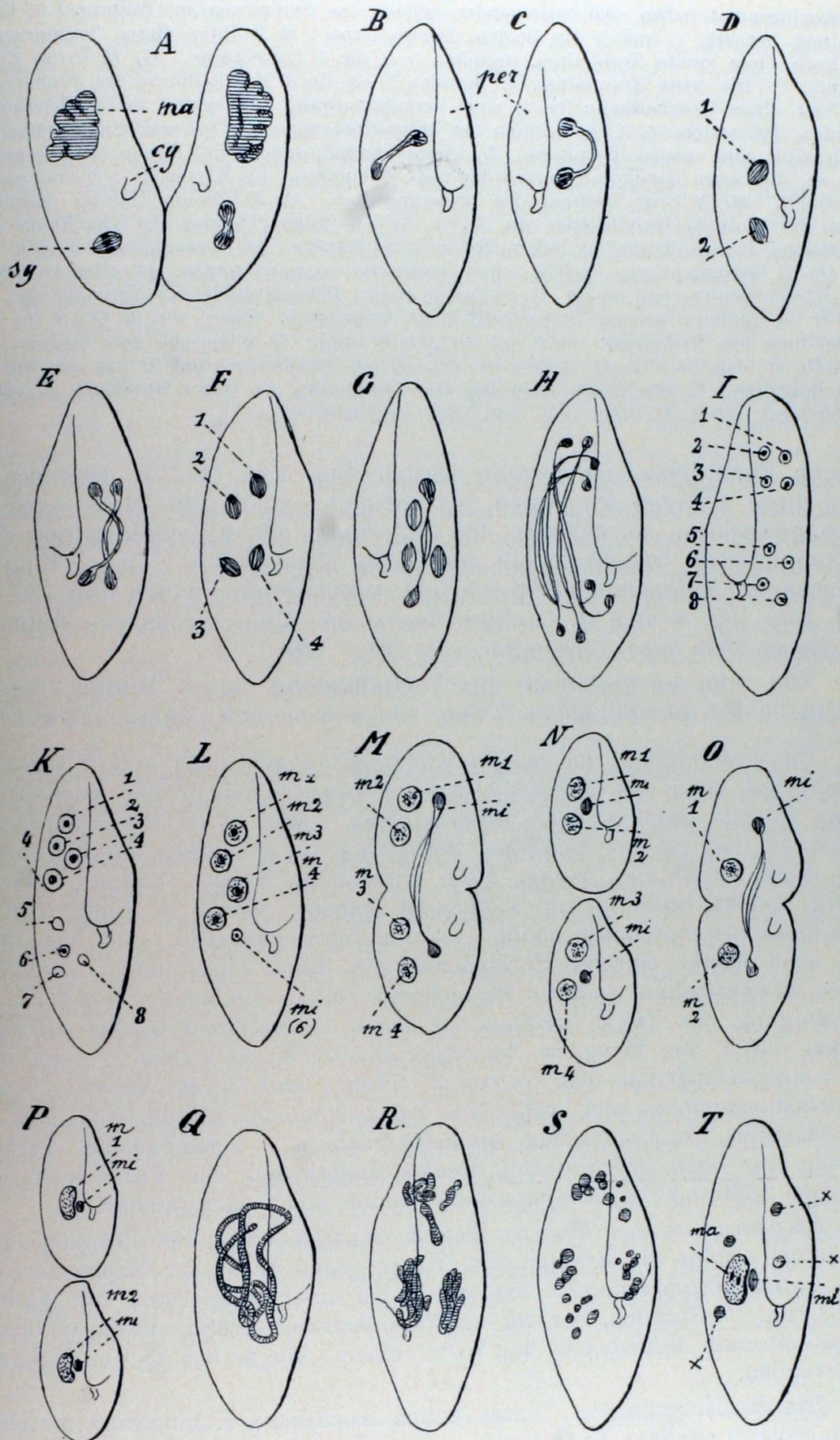


Fig. 136. *Paramecium caudatum*. Reconstitution des Kernapparates nach erfolgter Konjugation. A Zwei konjugierte Individuen, im Begriff sich zu trennen. cy Cytopharynx, ma der alte veränderte Makronucleus, sy Synkaryon (Verschmelzungsprodukt von stationärem und Wanderkern). B, C Die beiden Individuen

(Exkonjuganten) haben sich voneinander gelöst; das Synkaryon in Teilung. **D** Diese Teilung beendet, 1 und 2 die beiden Tochterkerne. **E** Teilung dieser Tochterkerne. **F** Auch diese zweite Kernteilung beendet, 1—4 die 4 Enkelkerne. **G, H** Dritte Kernteilung. **I** Die dritte Kernteilung ist beendet, 1—8 die 8 Urenkelkerne des Synkaryons. **K** Vier dieser Urenkelkerne (1—4) sind herangewachsen, um später zu Großkernen zu werden, drei andere (5, 7, 8) verfallen der Resorption, nur einer (6) erscheint unverändert und wird zum neuen Kleinkern. **L** Diese Veränderungen der Kerne sind beendet. m_1 — m_4 die neuen Großkerne, mi (6) der neue Kleinkern, die Kerne 5, 7, 8 sind restlos resorbiert. **M, N** Erste Teilung des Exkonjuganten. **O, P** Zweite Teilung desselben (bzw. des vorderen Tochtertieres von **N**), in beiden Fällen Teilung des Kleinkerns und Verteilung der Großkerne, so daß in **P** die Rekonstitution des Kernapparates beendet ist. — **Q—T** Veränderungen, Zerfalls- und Degenerationserscheinungen am alten Großkern des Exkonjuganten (vgl. ma in **A**), während dieser Rekonstitution des Kernapparates (in **B—P** im Interesse besserer Uebersichtlichkeit fortgelassen, ebenso wie in **Q—S** die Abkömmlinge des Synkaryons nicht mit dargestellt sind). **Q** entspricht dem Stadium der Fig. **H**, **R** dem der Fig. **I**, **S** dem der Fig. **N** (ein Tochtertier) und **T** dem der Fig. **P** (ein Enkeltier; \times die letzten Reste des alten Großkerns, ma neuer Großkern, mi neuer Kleinkern). Nach MAUPAS 1889, von LANG schematisiert.

beiden Enkelinfusorien verteilt werden (Fig. 136, **O—P**). Inzwischen sind diese Anlagen aber auch zur normalen Größe des Makronucleus herangewachsen, so daß also die Individuen der Enkelgeneration der Exkonjugierten wieder einen normalen Kernapparat (einen Makronucleus mit anliegendem Mikronucleus) rekonstituiert haben (Fig. 136, **P**, vgl. Fig. 135, α und β). Letzte Reste des alten Großkerns können zu dieser Zeit noch vorhanden sein (Fig. 136, **T**).

Von nun an geschieht die Fortpflanzung durch Teilung regelmäßig in der gewöhnlichen Weise, wie weiter oben geschildert wurde.

Die Vereinigung der beiden Konjuganten mit ihren oralen Flächen beruht auf einer physikalischen Veränderung der Körpersubstanz in der Gegend des Peristomfeldes. Hier wird die Oberfläche klebrig, so daß bei zufälliger Berührung eines zweiten *Parameciums* mit dieser Stelle die beiden Tiere aneinander hängen bleiben, gleichgültig welche Stellung sie zueinander haben. Wenn in einer Kultur Konjugationen besonders häufig („epidemisch“) auftreten, sieht man daher auch häufig einzelne *Paramäcien* mit ihrem Peristomfeld an beliebigen Körperstellen anderer *Paramäcien* kleben bleibend. Die normale Vereinigung der Paare Peristomfeld gegen Peristomfeld beruht auf derselben durch die Wimpern hervorgerufenen Wasserströmung, die die Nahrungspartikelchen dem Cytostom zuführt und deren Wirkung sich natürlich summieren muß, wenn zwei *Paramäcien* sich zufällig mit einander zugewandten Peristomflächen einander nähern. Irgendwelche Veränderung der oben geschilderten Reaktionsmethoden der *Paramäcien* ist dagegen während der Konjugationsperioden nicht nachweisbar.

Tageszeit und Dauer der Konjugation. Bei *Paramecium caudatum* erfolgt die Konjugation immer gegen Ende der Nacht und in den ersten Morgenstunden. Sie dauert bei einer Temperatur von 20 bis 25° C ca. 12 Stunden, bei der als *Paramecium aurelia* unterschiedenen Form mit zwei Mikronuclei bei 25° C ebenso lange, bei 15° C dagegen 24 Stunden.

Die Bedingungen, unter denen fruchtbare Konjugation eintritt, sind trotz vielfacher Untersuchungen noch nicht vollständig klargelegt. MAUPAS (1889) bezeichnete als solche Bedingungen Konjugationsreife, möglichst entfernte Verwandtschaft der konjugierenden Individuen und Nahrungsmangel.

1. Die Konjugationsreife sollte nach MAUPAS erst nach einer mehr oder weniger großen Zahl von Generationen (von der nächst vorhergehenden Konjugation aus gerechnet) erreicht werden; vorher sollten Konjugationen auch bei Realisierung der anderen Bedingungen nicht vorkommen und nach Ueberschreiten der Konjugationsreife sollten sie, wenn sie noch vorkommen, steril bleiben und zum Tode der Konjuganten führen. Bei *Leucophrys patula* z. B. sollte die Periode der Konjugationsreife ungefähr von der 300. bis zur 450., bei *Stylonychia pustulata* von der 130. bis zur 170. oder 180. Generation dauern. Hiernach würde also eine Konjugation immer in einem gewissen regelmäßigen Cyclus auf eine längere Vermehrungsperiode folgen. Neuere Untersuchungen von JOUKOWSKY (1898), ENRIQUES (1907, 1908), JENNINGS (1910) u. a. haben jedoch dieses zeitliche Moment nicht bestätigen können. JENNINGS beobachtete z. B. bei *Paramaecium caudatum* eine erneute Konjugation schon nach nur 4-maliger Teilung zwischen den 16 Nachkommen eines isolierten Exkonjuganten und ENRIQUES hat bei *Chilodon uncinatus* eine erneute Konjugation sogar schon beobachtet, ehe noch nach der vorausgegangenen der Kernapparat wieder völlig rekonstituiert war. Hiernach kann also die Konjugationsreife jederzeit unabhängig von dem Alter der Kultur eintreten, wobei ich unter Konjugationsreife einen besonderen für den Eintritt der Konjugation erforderlichen, chemischen und physikalischen Zustand des Protoplasmas verstehe. Außer der bereits erwähnten Klebrigkeit des Peristomfeldes ist freilich über diesen Zustand noch kaum Sicheres bekannt.

Daß konjugierende Paramäcien sich im allgemeinen durch geringe Größe auszeichnen (vgl. z. B. PEARL 1906 und JENNINGS 1911), dürfte die Folge vorausgegangener mangelhafter Ernährung sein (vgl. die nachstehende Besprechung von Einflüssen der Außenwelt auf die Konjugation). Auch bedingt das verhältnismäßig späte Einsetzen der Teilungen nach der Konjugation, daß die Exkonjuganten vor ihrer ersten Teilung zunächst relativ stark heranwachsen; die verhältnismäßig beträchtlichere Größe bleibt dann noch mehrere Generationen hindurch kenntlich. Andererseits ist eine untere Grenze für die Größe der Konjuganten dadurch gegeben, daß die Konjugation stets erst einige Zeit nach der letzten Teilung erfolgt, die Konjuganten seit dieser also auch bereits wieder etwas herangewachsen sind. Die Größenvariationen der Konjuganten sind demnach wesentlich geringer als diejenigen aller Individuen der ganzen Zucht.

Im Anschluß hieran ist noch hervorzuheben, daß bei der Konjugation eine gewisse Zuchtwahl stattfindet, indem im allgemeinen größere Individuen mit größeren und kleinere mit kleineren konjugieren (nähere Einzelheiten siehe bei JENNINGS 1911). Für die Erhaltung von Rassenunterschieden, wie sie in den auf S. 121 erwähnten reinen Linien zum Ausdruck kommen, ist dies natürlich von Vorteil. Andererseits aber zeigt nach einer vorläufigen Mitteilung von JENNINGS (1911) die Nachkommenschaft der Konjuganten tatsächlich in Bestätigung der theoretischen Auffassungen WEISMANNs eine größere Variabilität als die Nachkommenschaft völlig entsprechender Individuen, die nicht konjugiert haben, und können auch im Gefolge der Konjugation erbliche Unterschiede auftreten zwischen Angehörigen der gleichen Rasse, die sämtlich von einem einzigen Stamtier abstammen.

2. Möglichst entfernter Grad der Verwandtschaft ist durch neuere Untersuchungen ebenfalls der ihm von MAUPAS zuge-

schriebenen großen Bedeutung entkleidet worden. Nach MAUPAS' ausgedehnten, an verschiedenen Infusorienarten angestellten Untersuchungen sollten die Nachkommen ein und desselben Tieres auch dann nicht miteinander konjugieren, wenn die übrigen Bedingungen zur Konjugation erfüllt waren (Konjugationsreife, Nahrungsmangel). Bei Vermischung von Zuchten konjugationsfähiger Individuen verschiedener Kulturen, die nicht derselben Generationsfolge angehören, treten dagegen so massenhaft fruchtbare Konjugationen auf, daß man von Konjugations-epidemien spricht. PROWAZEK (1899) konnte diese Angaben für *Stylonychia pustulata* MÜLLER, eine der bereits von MAUPAS untersuchten Arten bestätigen: in keiner der Kulturen, die von einem einzigen Muttertier abstammten, trat Konjugation auf, dagegen ließ die Teilungsenergie bald nach und die Tiere encystierten sich; bei Vermischung von Kulturen trat Konjugation ein. Bei anderen Versuchen (von MAUPAS mit *Stylonychia mytilus*, von JOUKOWSKY mit *Pleurotricha lanceolata*) gelang es dagegen nicht, durch Mischung von Individuen aus verschiedenen Kulturen Konjugationen herbeizuführen. Andererseits hat PROWAZEK (1910) bei *Colpidium* einmal auch Konjugation zwischen den Nachkommen eines Individuums beobachtet. ENRIQUES (1907) fand in gleicher Weise Konjugation zwischen nahen Verwandten bei Colpoda und Opercularia und JOUKOWSKY (1898), CALKINS (1902), sowie JENNINGS (1910) beobachteten dasselbe bei Paramäcien. Daß diese Inzucht keinerlei Schädigung mit sich bringt, zeigen die Erfahrungen von CALKINS, der nach einer Konjugation zweier Tiere, die in der 8. oder 9. Generation von einem gemeinsamen Muttertier abstammten, die Nachkommenschaft eines der beiden Exkonjuganten durch 379 Generationen hindurch fortzüchtete, und von JENNINGS, in dessen Zuchten sich Konjugationen zwischen derart nahen Verwandten mehrfach wiederholten (in einem Stammbaum 4mal, in einem anderen 5mal in Intervallen von zum Teil nur wenigen Wochen; vgl. auch den hierhergehörigen schon auf S. 127 erwähnten Fall).

3. Einwirkungen der Außenwelt, von denen der von MAUPAS allein hervorgehobene Nahrungsmangel nur einen besonders wichtigen Spezialfall darstellt, sind dagegen zweifellos von großem Einfluß auf das Eintreten der Konjugation und werden von ENRIQUES sogar im Gegensatz zu inneren (konstitutionellen) Faktoren als allein wirksame Bedingungen der Konjugation betrachtet.

Nach MAUPAS tritt Konjugation nur bei Nahrungsmangel auf, derart daß man auch bei Erfüllung der übrigen von ihm betonten Bedingungen Konjugationen durch Nahrungszufuhr jederzeit verhindern kann und andererseits Infusorien dadurch zur Konjugation veranlassen kann, daß man sie nach vorheriger reichlicher Ernährung hungern läßt. Diese Methode ist auch von HERTWIG, POPOFF, PRANTL, PROWAZEK u. a. mit Erfolg benutzt worden. Nach KASANTZEFF (1901) korrigiert die Konjugation die durch den Hungerzustand herbeigeführte Störung der Kernplasmarelation (Zunahme der Kernmasse) und den hierdurch bedingten Depressionszustand (vgl. auch S. 115 f.).

Nach ZWEIBAUM (1912) sind Paramäcien immer zur Konjugation befähigt, wenn sie 5—6 Wochen lang nur spärlich ernährt wurden. Sie behalten dann diese Fähigkeit bei gleichbleibender Ernährung lange Zeit, ohne zugrunde zu gehen, und konjugieren sich stets, wenn bei plötzlicher weiterer Verringerung der Nahrungszufuhr und bei einer Temperatur zwischen 9 und 29° C (Optimum 20—23° C) die chemische

Zusammensetzung des Mediums bestimmten Bedingungen entspricht. In letzterer Beziehung ist nach ZWEIBAUM der Salzgehalt des Wassers von Wichtigkeit: ganz besonders begünstigt wird die Konjugation nach seinen Untersuchungen durch AlCl_3 in einer Konzentration von $\text{N}/_{24000}$ bis $\text{N}/_{48000}$ und nächst dem durch NaNO_3 in Konzentration von $\text{N}/_{1200}$ und durch Na_2CO_3 in Konzentration von $\text{N}/_{24000}$ — $\text{N}/_{36000}$, in geringerem Grade auch durch zahlreiche andere schwache Salzlösungen. Anscheinend wirkt jedes Salz in einer bestimmten schwachen Konzentration konjugationsfördernd (sogar Sublimat, und zwar in Konzentration von $\text{N}/_{12\,000\,000}$ bis $\text{N}/_{48\,000\,000}$); die Verschiedenheiten in der Wirkung verschiedener Salze entziehen sich jedoch zurzeit noch dem Verständnis und sei daher dieserhalb auf die Originalarbeit verwiesen.

Daß außer der Nahrungszufuhr, Temperatur und chemischen Zusammensetzung des Mediums auch noch andere Einflüsse der Außenwelt eine Rolle bei der Konjugation spielen können, wird dadurch bewiesen, daß nach ENRIQUES (1907) *Colpoda steini* ausschließlich in Kulturen mit niedrigem Wasserstand (nicht über 2—3 mm) konjugiert.

4. Plasmodium vivax

möge als Beispiel dienen für ein Protozoon, das in Bau und Entwicklung in weitgehendster Weise an den Parasitismus angepaßt ist.

Plasmodium vivax ist ein Parasit der roten Blutkörperchen des Menschen und ruft durch seine Anwesenheit die *Malaria tertiana* hervor, bei der ein fieberfreier und ein fieberhafter Tag regelmäßig miteinander wechseln; daher auch sein Name *Tertianparasit*. Er ist zweifellos mit den Flagellaten verwandt und wird sogar von manchen diesen direkt zugezählt, wie dies auch oben in der systematischen Uebersicht geschehen ist; er hat jedoch in Anpassung an seinen endoglobulären Parasitismus den für die Flagellaten sonst charakteristischen Geißelapparat vollständig eingebüßt, wie wir ja auch bei anderen Parasiten (z. B. parasitischen Krustern) Rückbildung und völligen Schwund der Lokomotionsorgane finden.

Die jüngsten Stadien, die man in den Blutkörperchen des malariekranken Menschen antrifft, sind kleine, nackte, je einen Kern enthaltende, amöboid bewegliche Zellen, die infolge des Einschlusses einer Vakuole ringförmig erscheinen (Fig. 137, 3).

Diese Vakuole, die nur bei noch jugendlichen Individuen vorhanden ist, spielt offenbar bei der durch Osmose erfolgenden Ernährung des Parasiten eine Rolle und wird deshalb von SCHAUDINN (1902) direkt als Nahrungsvakuole bezeichnet, obwohl sie der typischen, geformte Nahrungskörper enthaltenden Nahrungsvakuole anderer Protozoen kaum vergleichbar ist.

Der Sitz des Parasiten im Inneren der Blutkörperchen ist mehrfach bestritten worden zugunsten der Annahme einer nur äußerlich erfolgenden Anheftung. Er wird aber vor allem durch SCHAUDINNS (1902) Beobachtungen über das Eindringen der Jugendformen in die Erythrocyten bewiesen, zumal dieses in ganz der gleichen Weise erfolgt wie das Eindringen der jungen Coccidien in die Epithelzellen ihrer Wirte.

Bei ihrer Ernährung zersetzen die Parasiten den roten Farbstoff (das Hämoglobin) des befallenen Blutkörperchens und lagern das Zerzeugungsprodukt in Form von braunen, doppelt lichtbrechenden

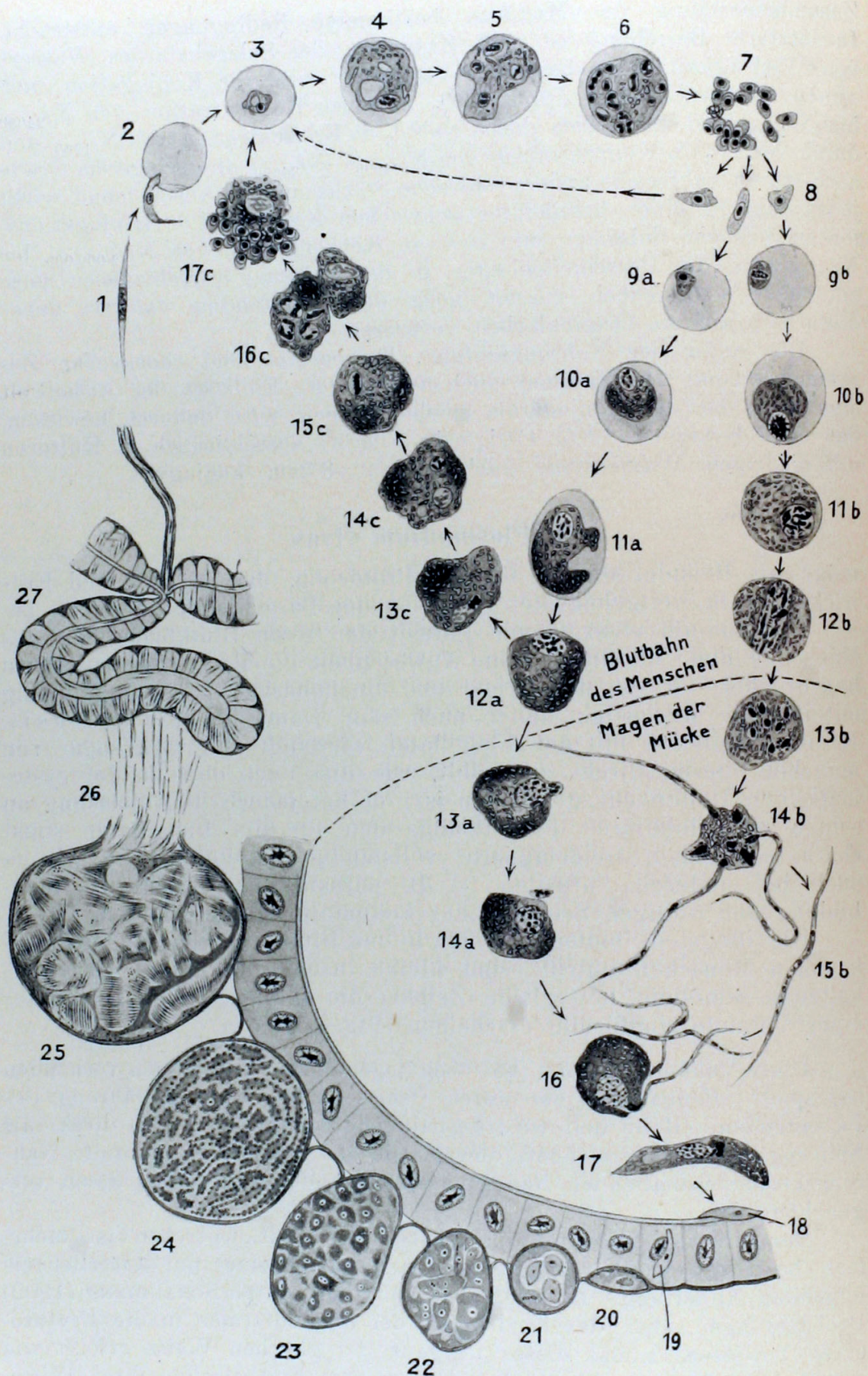


Fig. 137. **Zeugungskreis von *Plasmodium vivax*** (GR. & FEL.), kombiniert nach Abbildungen von GRASSI und SCHAUDINN, nach LÜHE 1906 (etwas verändert). 1 Sporozoit, 2 Eindringen des Sporozoiten in das rote Blutkörperchen, 3—7 Schizogonie, und zwar 3—4 Wachstum des Schizonten, 5—6 Kernteilung im Schizonten, 7 Zerfall des

Schizonten in die Merozoiten, 8 einzelne Merozoiten, die nach ihrem Eindringen in rote Blutkörperchen entweder wieder zu Schizonten werden (2) oder zu Makrogametocyten (9a) oder zu Mikrogametocyten (9b), 9a—12a Wachstum der Makrogametocyten, 9b—12b desgleichen der Mikrogametocyten, 13a, 14a Reifung der Makrogameten durch Kernreduktion im Makrogametocyten, 13b, 14b Bildung der Mikrogameten durch Gamogonie des Mikrogametocyten, 15b einzelner reifer Mikrogamet, 16 Befruchtung, 17 Copula (Ookinete), 13c—17c Rückbildung und Schizogonie des Makrogametocyten bei Verbleib in der Blutbahn des Menschen, 18—19 Einwanderung des Ookineten in die Wandung des Mitteldarms (sog. Magens) der Mücke, 20—25 Sporogonie, und zwar 20—24 Kernvermehrung im Sporonten, 24—25 Differenzierung der Sporozoiten, 26 Ueberwanderung der Sporozoiten aus der geplatzten Oocyste zur Speicheldrüse, 27 Speicheldrüse der Mücke mit eingedrunghenen Sporozoiten. Vergr. von 1—17 ca. 1200:1, von 18—27 ca. 600:1.

Pigmentkörnchen in ihrem Protoplasma ab. Bei fortschreitendem Wachstum der Parasiten (Fig. 137, 4) hypertrophieren die befallenen Blutkörperchen bei gleichzeitiger Entfärbung und schließlich bildet ihre Substanz nur noch eine dünne Schicht um den sich abrundenden Parasiten, dessen Durchmesser im ausgewachsenen Zustande nicht hinter dem eines normalen roten Blutkörperchens zurückbleibt und nicht selten sogar das anderthalbfache von diesem erreicht. Nunmehr schickt sich der Parasit zur Fortpflanzung an, die durch mehrfach wiederholte Zweiteilung des Kernes eingeleitet wird, bis 12—24 (meist 16) Tochterkerne entstanden sind (Fig. 137, 5—6). Um jeden dieser Tochterkerne gruppiert sich alsdann etwas Plasma und der ganze Parasit zerfällt derart gleichzeitig in ebenso viel einkernige Fortpflanzungskörper (Merozoiten) unter Zurücklassung eines zentralen, die Pigmentkörnchen enthaltenden Restkörpers (Fig. 137, 7). Diese Vermehrung nennen wir Schizogonie, das sich vermehrende Mutterindividuum dementsprechend Schizont.

Sofort nach dem Zerfall des Schizonten in die Merozoiten oder schon gleichzeitig mit ihm zerfällt auch der Rest des degenerierten Blutkörperchens, in dem die Entwicklung erfolgte, und die frei gewordenen Merozoiten (Fig. 137, 7—8) dringen in andere Blutkörperchen ein, um dort die geschilderte Entwicklung von neuem zu beginnen.

In der Regel erfolgt die Entwicklung aller Parasiten in dem Blute ein und desselben Menschen synchron, derart daß sie gleichzeitig heranwachsen, gleichzeitig sich teilen und gleichzeitig neue Blutkörperchen heimsuchen. Mit dem Eindringen der Merozoiten in die Blutkörperchen fällt dann der charakteristische Fieberanfall der Malaria tertiana zusammen, der sich alle 48 Stunden wiederholt, entsprechend der 48-stündigen Entwicklungsdauer einer Generation des Tertianparasiten.

Die Vermehrung durch Schizogonie dient nach dem Gesagten der Ausbreitung der Parasiten im Blute des bereits infizierten Menschen. Die tatsächliche Vermehrung der Zahl der Parasiten bleibt aber ähnlich wie bei freilebenden Tieren weit hinter der rechnerisch zu erwartenden zurück. Müßte doch sonst die Nachkommenschaft eines einzelnen Tertianparasiten nach 12 Tagen bereits über 15 Millionen (16^6) betragen. Tatsächlich kann dagegen die Zahl der im Blute vorhandenen Parasiten von einem bis zum nächsten Fieberanfall sogar eine Verminderung erfahren¹⁾. Es müssen also im Blute sich Einflüsse des Wirtes geltend

1) Genaue Zahlenangaben für den Tertianparasiten sind mir nicht bekannt. Als Anhaltspunkt kann aber dienen, daß GRAY in einem Falle von Quartana kurz nach vier

machen, die einen großen Teil der Parasiten dem Untergange zuführen, deren Vorhandensein wir aber bisher nur aus dieser ihrer Wirkung erschließen können.

Mit der Zunahme der Parasiten steigert sich auch die Reaktion des Wirtes und damit verschlechtern sich offenbar in einer in ihren Einzelheiten noch nicht ganz aufgeklärten Weise die Existenzbedingungen des Parasiten. Dessen Vermehrung durch Schizogonie erlischt allmählich unter diesen im einzelnen noch nicht festgestellten Einflüssen, indem die durch Schizogonie entstandenen jungen Merozoiten nach ihrem Eindringen in rote Blutkörperchen nicht mehr zu Schizonten, sondern zu geschlechtlich differenzierten Gametocyten heranwachsen (Fig. 137, 9—12).

Das Wachstum dieser Gametocyten erfolgt wesentlich langsamer als das der Schizonten und erfordert speziell beim Tertianparasiten gerade die doppelte Zeit. Dementsprechend häufen sich in ihnen die Stoffwechselprodukte in Form des hämatogenen Pigmentes in sehr viel größerer Anzahl an, während andererseits ihnen die Nahrungsvakuole fehlt, die für die jungen Schizonten mit ihrem lebhaften Stoffwechsel so charakteristisch ist. Des weiteren unterscheiden sich die Gametocyten von den Schizonten noch durch wesentlich geringere amöboide Beweglichkeit.

Männliche und weibliche Gametocyten unterscheiden sich voneinander durch verschiedene Plasmastruktur. Die weiblichen Makrogametocyten (Fig. 137, 9a—12a) sind durch ein sehr dichtes, stark mit Reservestoffen beladenes und daher besonders intensiv färbbares Protoplasma ausgezeichnet. Bei den männlichen Mikrogametocyten (Fig. 137, 9b—12b) ist umgekehrt das Protoplasma im Leben wie im gefärbten Präparat ganz besonders blaß, während sich der Kern durch besondere Größe auszeichnet.

Das weitere Schicksal der Gametocyten bei Verbleib in der Blutbahn ist ein verschiedenes. Die Mikrogametocyten, denen Reservestoffe völlig fehlen und deren großer Kern deutlich auf den Beruf der sogleich zu besprechenden, aber bei Verbleib in der Blutbahn nicht möglichen Mikrogametenbildung hinweist, gehen verhältnismäßig rasch zugrunde. Haben infolge Erlöschens der Schizogonie die Fieberanfälle aufgehört, so fehlen wenige Wochen nach dem letzten Fieberanfall auch die Mikrogametocyten im Blute ebenso vollständig wie die Schizonten.

Ganz anders die Makrogametocyten, deren Spezialisierung vor allem in ihrem dichten, reich mit Reservestoffen beladenen Protoplasma besteht und ihnen daher gerade eine größere Widerstandsfähigkeit verleiht, die sie zu längerem Leben auch unter ungünstigen Umständen befähigt.

Die größere Widerstandsfähigkeit der Makrogametocyten zeigt sich nicht nur in ihrer längeren Lebensdauer, die offenbar eine Reihe von Monaten betragen kann, sondern auch gegenüber medikamentösen Ein-

aufeinander folgenden, durch keine ärztliche Behandlung beeinflussen Fieberanfällen ca. 500, 446, 627 bzw. 302 Parasiten im Kubikmillimeter Blut fand. Hierbei sei bemerkt, daß die Entwicklung des Quartanparasiten (*Plasmodium malariae*) völlig derjenigen von *Plasmodium vivax* gleicht, nur daß die Schizogonie 72 Stunden statt 48 dauert und zur Entstehung von nur 6—12, meist 8 Merozoiten führt.

flüssen. Die Wirksamkeit des Chinins gegenüber der Malaria ist empirisch ja schon sehr lange bekannt; wurde diese Kenntnis doch nach der Entdeckung Amerikas von den Indianern den Europäern übermittelt. Erst neuerdings konnte festgestellt werden, daß die Chininwirkung auf einer direkten Schädigung der Malariaparasiten durch das im Blute kreisende Chinin beruht und daß wir imstande sind, mit Hilfe von Chinin die Schizonten überhaupt abzutöten, wenn wir dieses zu geeigneter Zeit (kurz vor dem zu erwartenden neuen Fieberanfall, da die jungen Schizonten am wirksamsten durch das Chinin beeinflusst werden) und in geeigneter Menge verabreichen. Diese Schädigung übt das Chinin aber nur auf die Schizonten aus, deren Plasmakörper unter seinem Einfluß eigenartige, sehr stark zerschlissene Formen annimmt; die Makrogametocyten werden durch das Chinin in sehr viel geringerem und zum großen Teil überhaupt nicht merklichem Grade beeinflusst.

Die langlebigen, im Blute verbleibenden Makrogametocyten können unter Umständen den Ausgangspunkt für das Einsetzen einer neuen Vermehrungsperiode bilden und hierdurch monatelang nach dem scheinbaren Erlöschen der Malariakrankheit zum Auftreten eines Rückfalls derselben Anlaß geben. Es tritt dies namentlich dann ein, wenn der Körper des betreffenden Menschen durch irgendwelche Einflüsse eine Schwächung erfahren hat, z. B. durch eine Erkältung oder durch Ueberanstrengung. Eine derartige Schwächung des Wirtes übt offenbar einen Reiz aus auf den Makrogametocyten, der eigenartige, äußerlich unter dem Bilde einer inäqualen Kernteilung verlaufende Veränderungen des Kernapparates durchmacht und sich hierdurch unter Verlust der Geschlechtsmerkmale zu einer vermehrungsfähigen Form rückbildet, die LÜHE (1906) wegen ihrer Ähnlichkeit mit dem Schizonten als „Gametoschizont“ bezeichnet hat. Die multiple Teilung erfolgt dann in ganz entsprechender Weise wie bei der gewöhnlichen Schizogonie, nur daß ein größerer, auch einen Teil des ursprünglichen Makrogametocytenkernes enthaltender Restkörper übrig bleibt (Fig. 137, 13c—17c). Die Makrogametocyten stellen also auf Grund ihrer Langlebigkeit und ihrer Fähigkeit, sich zu einer vermehrungsfähigen Form rückzubilden, die Dauer- oder Latenzformen des Malariaparasiten dar.

Ihrer eigentlichen (geschlechtlichen) Bedeutung können die Gametocyten aber nur dann nachkommen, wenn sie mit dem sie enthaltenden Blutstropfen in den Darm einer Stechmücke aus der Gattung *Anopheles* gelangen. Die Entwicklung der Malariaparasiten ist also mit einem Wirtswechsel verbunden.

Die Weiterentwicklung der Gametocyten der menschlichen Malaria-parasiten kann in verschiedenen *Anopheles*arten erfolgen, die dann die Infektion auch wieder auf andere Menschen zu übertragen vermögen. Sie erfolgt aber nur in *Anopheles*, nicht in *Culex*, während das verwandte *Proteosoma* der Vögel umgekehrt von *Culex* und nicht von *Anopheles* übertragen wird. In Europa ist die verbreitetste *Anopheles*art und demzufolge auch der wichtigste Malariaüberträger *Anoph. maculipennis* MEIG. (Fig. 138).

Im Mitteldarm von *Anopheles* erfolgt zunächst die Reifung der Gametocyten, während die gleichzeitig von der Mücke aufgenommenen Schizonten mit dem Blute verdaut werden. Die Reifungs-

vorgänge beginnen mit dem Austritt der Gametocyten aus dem Blutkörperchen (soweit dieser nicht etwa schon früher durch Zerfall des von dem Parasiten zerstörten Blutkörperchens erfolgt war) und der kugeligen Abrundung der Parasiten, sind dann aber im weiteren Verlaufe bei beiden Geschlechtern verschieden.

Der Makrogametocyt wandelt sich direkt vermittelt einer Kernreduktion zu dem befruchtungsfähigen Makrogameten

um, indem an einer Stelle seiner Oberfläche ein buckelförmiger Höcker auftritt, der einen Teil des Kernes aufnimmt und alsbald als kleines Plasmaklumpchen völlig abgeschnürt wird, ähnlich etwa dem Richtungskörperchen eines Metazoeineies (Fig. 137, 13a—14a).

Der Mikrogametocyt macht dagegen einen Vermehrungsprozeß durch, den wir, weil er die Gameten liefert, als Gamogonie bezeichnen. Schon in der Blutbahn des Menschen war die Teilung des Mikrogametocytenkernes in 8 Tochterkerne vorbereitet. Jetzt, im Mitteldarm von *Anopheles*, wird sie vollendet, die Tochterkerne rücken, während im Plasma lebhaft wirbelnde Strömungen einsetzen, an die Oberfläche, und plötzlich schnellen dann aus dem Körper des Parasiten 4—8 lange, im Leben hyaline Fäden hervor, welche lebhaft peitschende Bewegungen ausführen, sich alsbald losreißen und in schlängelnden Bewegungen davonstürmen. Es

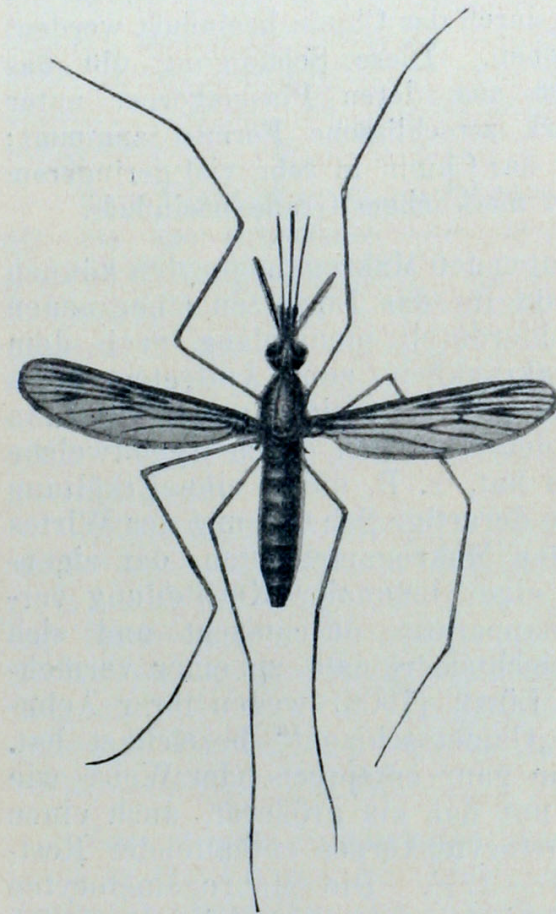


Fig. 138. *Anopheles maculipennis* MEIGEN (einschließlich der Mundwerkzeuge 8—11 mm lang). Nach GRASSI 1900.

sind dies die befruchtungsfähigen Mikrogameten, deren Zahl meist die der 8 vorgebildeten Kerne nicht erreicht, wobei dann ein Teil der letzteren unverbraucht in dem kleinen, auch die Pigmentkristalle enthaltenden und rasch absterbenden und zerfallenden Restkörper des Mikrogametocyten, von dem sich die Mikrogameten ablösen, zurückbleibt (Fig. 137, 13b—15b).

Wie die Reifung des Makrogameten, so erinnert auch seine Befruchtung durch einen Mikrogameten lebhaft an die entsprechenden Vorgänge bei den Metazoeineiern. Sie erfolgt in der Weise, daß der Makrogamet an der Stelle, wo sein der Oberfläche genäherter Kern liegt, eine kleine Hervorwölbung, den sogenannten Empfängnishügel, dem Mikrogameten entgegenstreckt, und daß alsdann der Mikrogamet in diesen eindringt (Fig. 137, 16). Das Eindringen des Vorderendes des Mikrogameten erfolgt bei gleichzeitiger Zurückziehung des Empfängnishügels und abermaliger völliger Abrundung des Makrogameten verhältnismäßig rasch, während alsdann der Rest

des Mikrogameten erst allmählich unter schlängelnden Bewegungen in dem Makrogameten verschwindet. Stets dringt nur ein einziger Mikrogamet ein; alle weiteren, die sich nähern, werden zurückgewiesen, stellen alsbald ihre Bewegungen ein und verkleben knäuelartig, um dann zu zerfallen. Nach Beobachtungen SCHAUDINNS (1902) scheint der Makrogamet an der Stelle, wo ein Mikrogamet eindrang, eine hyaline, sehr schwach lichtbrechende Substanz abzuscheiden, welche die später kommenden Mikrogameten verklebt. Gleichzeitig mit dem Eindringen des Mikrogameten setzt in dem Makrogameten eine lebhafte, das Pigment wirbelartig umherwerfende Plasmaströmung ein, welche aber nur wenige Minuten dauert und auf die zunächst eine Periode der Ruhe folgt, während deren die Kerne der beiden Gameten zu einem einheitlichen Kopulationskern (Synkaryon) verschmelzen. Dann beginnt an einer Stelle der Oberfläche der durch die Vereinigung der beiden Gameten entstandenen Copula eine kleine konische Hervorwölbung aufzutreten, die zunächst nur aus hyalinem Ektoplasma besteht, aber allmählich immer größer wird und mit dem Endoplasma auch das Synkaryon und das Pigment aufnimmt, bis auf diese Weise schließlich aus der anfangs kugeligen Copula ein gestreckt-spindelförmiges Stadium entsteht, der sogenannte Ookinet, welcher bis zu 20 μ lang wird und sich in schlängelnden Bewegungen zwischen den Blutkörperchen umherbewegt (Fig. 137, 17).

Der erste Anreiz zur Reifung wird auf die Gametocyten offenbar durch eine im Mückendarm sehr rasch erfolgende Veränderung der Dichtigkeit des Blutes ausgeübt. Jedenfalls beginnt die Reifung auch auf dem Objektträger, wenn die Dichtigkeit des Blutes verändert wird, sei es durch schwache Verdünnung desselben mit Wasser, sei es durch langsame Eindickung infolge der natürlichen Verdunstung an der Oberfläche des der Luft ausgesetzten Blutes, während dagegen die Gametocyten im unverdünnten Blute bei Luftabschluß völlig unverändert bleiben. (Systematische Versuche nach dieser Richtung hin hat bei Malariaparasiten bisher nur Ross vorgenommen.)

Neben der Dichte des Blutes spielt aber vermutlich auch die Abkühlung eine Rolle, welche das Blut nach dem Verlassen der Blutbahn erleidet. Anscheinend erfolgt die Bildung der Mikrogameten am sichersten bei einer Temperatur von ca. 20° C. Bei 18° C sah MARTIRANO sie nur in merklich geringerem Grade auftreten, und bei 17° C konnte er sie trotz mehrstündiger Beobachtung von Präparaten, die zahlreiche Gametocyten enthielten, überhaupt nicht beobachten. GRASSI vermutet, daß die Gametocyten bei 17° C und darunter im Mückendarm ebenso verdaut werden wie die Schizonten.

Bei dem im Blute von Vögeln schmarotzenden *Haemoproteus* genügen diese beiderlei physikalischen Einflüsse, um die Reifung und Befruchtung herbeizuführen. (Hinsichtlich aller näheren Einzelheiten über diese Fragen muß hier auf LÜHE 1906 verwiesen werden.) Erklärt SCHAUDINN doch sogar, daß die Infektion der Mücken mit *Haemoproteus noctuae* nur dann gelänge, wenn es auch auf dem Objektträger gelänge, in dem Blute des zum Infektionsversuch benutzten Vogels die Entwicklung der Geschlechtsformen bis zur Ausbildung des fertigen, zwischen den Blutkörperchen umherschwärmenden Ookineten zu verfolgen. Bei den Malariaparasiten des Menschen dagegen sind die Be-

dingungen, die zu einem normalen Ablauf der Reifung und Befruchtung erfüllt sein müssen, anscheinend wesentlich komplizierter. Bei ihnen (und ebenso übrigens auch beim *Proteosoma* der Sperlinge) ist es noch nie gelungen, die Ookinetenbildung auf dem Objektträger zu verfolgen. Ja, nicht einmal die Reifung der Gametocyten scheint bei ihnen unter den künstlichen Bedingungen, wie sie die Untersuchung des frisch entleerten Blutes auf dem Objektträger mit sich bringt, in völlig normaler Weise zu erfolgen, so daß SCHAUDINN (1902) bei seinen Untersuchungen über diese Reifungsvorgänge das Blut nicht dem Malaria-kranken direkt entnahm, sondern statt dessen sich der Mücken als Vermittler bediente und erst deren Mageninhalt alsbald auf den Objektträger entleerte.

Der bewegliche Ookinet der Malariaparasiten weist auf Beziehungen derselben zu den Flagellaten hin, denn nur bei Flagellaten kommen sonst noch ähnliche bewegliche Kopulaformen vor. Auch speziell bei den Coccidien, mit denen die Malariaparasiten früher zusammen- gestellt wurden, ist die Copula stets bewegungslos und wird auch früh-

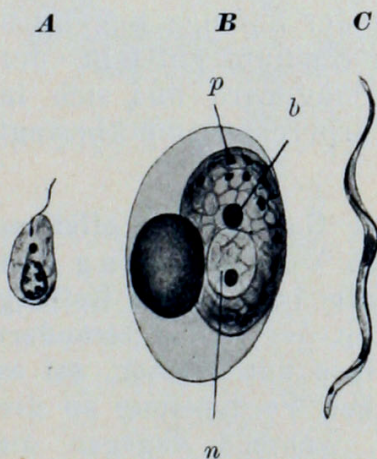


Fig. 139. **Proteosoma praecox** GR. & FEL. *A* Merozoit mit Geißel. *B* Makro- gametocyt mit Hauptkern und Blepharoplast. *b* Blepharoplast, *n* Kern, *p* Pigment. *C* Mikro- gamet mit Kern, Blepharoplast und undulierender Membran. Nach HARTMANN 1910.

zeitig von einer selbstgebildeten Cyste um- schlossen. Im übrigen sind direkte An- zeichen einer Verwandtschaft der Malaria- parasiten mit den Flagellaten kaum mehr vorhanden. SCHAUDINN (1904) wollte zwar bei Merozoiten und Sporozoiten noch Geißeln gefunden haben, indessen hat er nähere be- weisende Angaben hierüber nicht mehr machen können und von anderer Seite hat seine dies- bezügliche kurze vorläufige Mitteilung eine Bestätigung nicht erfahren. Wohl aber haben HARTMANN und SERGENT noch eine deutlich entwickelte Geißel sowie eine charakteristische, an gewisse echte Flagellaten aus der HART- MANNschen Ordnung Binucleata erinnernde Doppelkernigkeit bei *Proteosoma* gefunden (Fig. 139), einem Blutparasiten der Vögel, der den menschlichen Malariaparasiten außer- ordentlich nahe steht, so nahe, daß sogar schon die Berechtigung der Beibehaltung einer besonderen Gattung für ihn angezweifelt worden ist. Da auch noch weitere Zwischen- formen bekannt geworden sind (vgl. hierüber

unten den Abschnitt über Haftorganellen), so kann füglich nicht daran gezweifelt werden, daß die Malariaparasiten von echten Flagellaten ab- stammen und sich aus diesen unter Rückbildung des Geißelapparates entwickelt haben.

Der Ookinet, der im verdauenden Mitteldarm der Mücke aus den verschmolzenen Gameten entstanden ist, wandert alsbald in die Darmwandung ein. Er durchsetzt hierbei das Epithel und gelangt in die subepitheliale Tunica elastico-muscu- laris, in welcher er sich ansiedelt, um in ihr heranzuwachsen (Fig. 137, 19—25, sowie Fig. 140—142). Diese in der Darmwand der Mücke schmarotzenden Entwicklungsstadien des Malariaparasiten bezeichnen wir als Sporonten. Der Sporont und die ihn um-

gebende vom Wirt gebildete Kapsel werden unter der gemeinsamen Bezeichnung Oocyste zusammengefaßt, während wir die Vermehrung des Sporonten als Sporogonie bezeichnen.

Eine aktive Encystierung der Malariaparasiten innerhalb der Tunica elastico-muscularis nach Analogie der Encystierung bei anderen Protozoen und speziell auch der Coccidien, als deren nächste Verwandte die

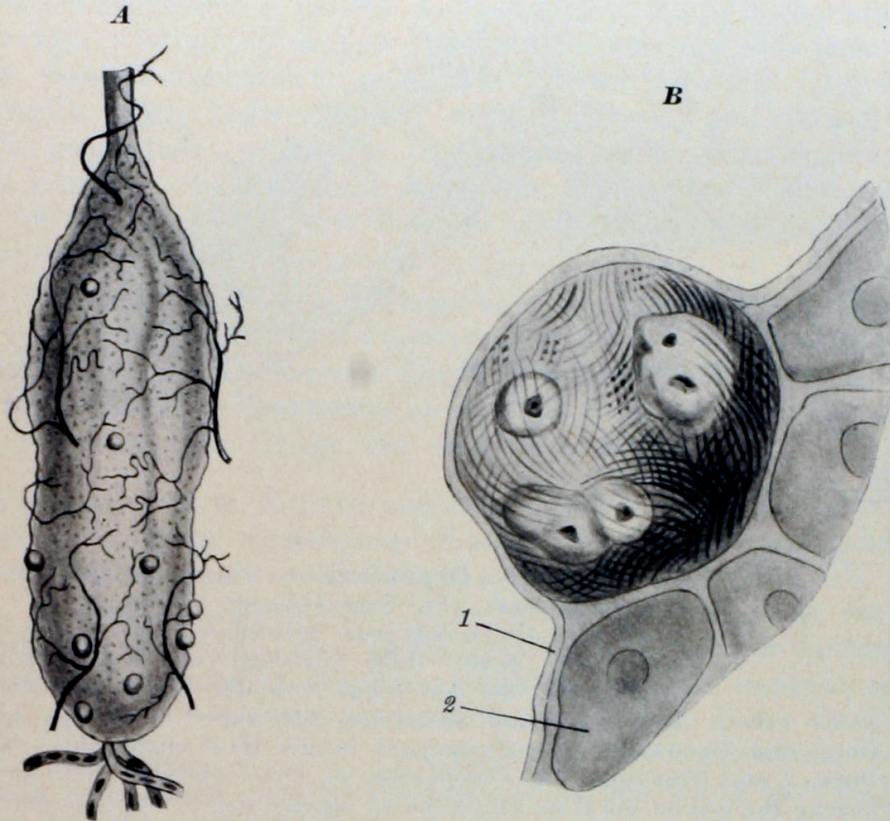


Fig. 140. **Sporonten von *Proteosoma*** am Magen von *Stegomyia fasciata*. **A** Gesamtbild des Magens mit 9 Cysten des Parasiten. 10 Tage nach dem Saugakt. Vergr. 22:1. **B** Ein einzelner, nahezu reifer Sporont bei wesentlich stärkerer Vergrößerung, nach einem Totalpräparat, 14 Tage nach dem Saugakt. Man sieht im Inneren der Cyste die Sporozoiten sowie vier Restkörper und innerhalb dieser das Pigment durchschimmern. 1 Tunica elastico-muscularis, 2 Epithelzelle des Mückendarmes. Vergr. 800:1. Nach NEUMANN 1909.

Malariaparasiten eine Zeitlang betrachtet wurden, findet nicht statt. Die den Parasiten umgebende Kapsel (Fig. 140, 142) ist kein Produkt der Parasiten selbst, sondern nur ein integrierender Teil der Tunica elastico-muscularis des Stechmückendarms, deren strukturlose Beschaffenheit freilich eine von dem Parasiten abgeschiedene Cyste vorzutäuschen vermag.

Stets bleiben die Parasiten durch diese sie umschließende Kapsel an dem Darne des Anopheles fixiert. Es kann zwar bei ihrem weiteren Wachstum vorkommen, daß sie so weit aus der Darmwandung hervorragen, daß sie nur noch wie mit einem Stiele an dieser befestigt erscheinen. Aber niemals kommt es zu einer völligen Loslösung. Andererseits kann dagegen der Parasit trotz der Regel, daß er bei seinem Heranwachsen aus dem Niveau der benachbarten Darmwandung nach außen hervortritt, einen stärkeren Druck auf das Epithel ausüben und dessen Zellen nicht nur abflachen, sondern auch gegen das Darmlumen zu vorbuckeln (vgl. hierzu Fig. 142 A).

Die Zahl der Malariaparasiten, welche sich in einer einzigen Mücke entwickeln, kann eine sehr große sein. GRASSI hat ihrer an einem ein-

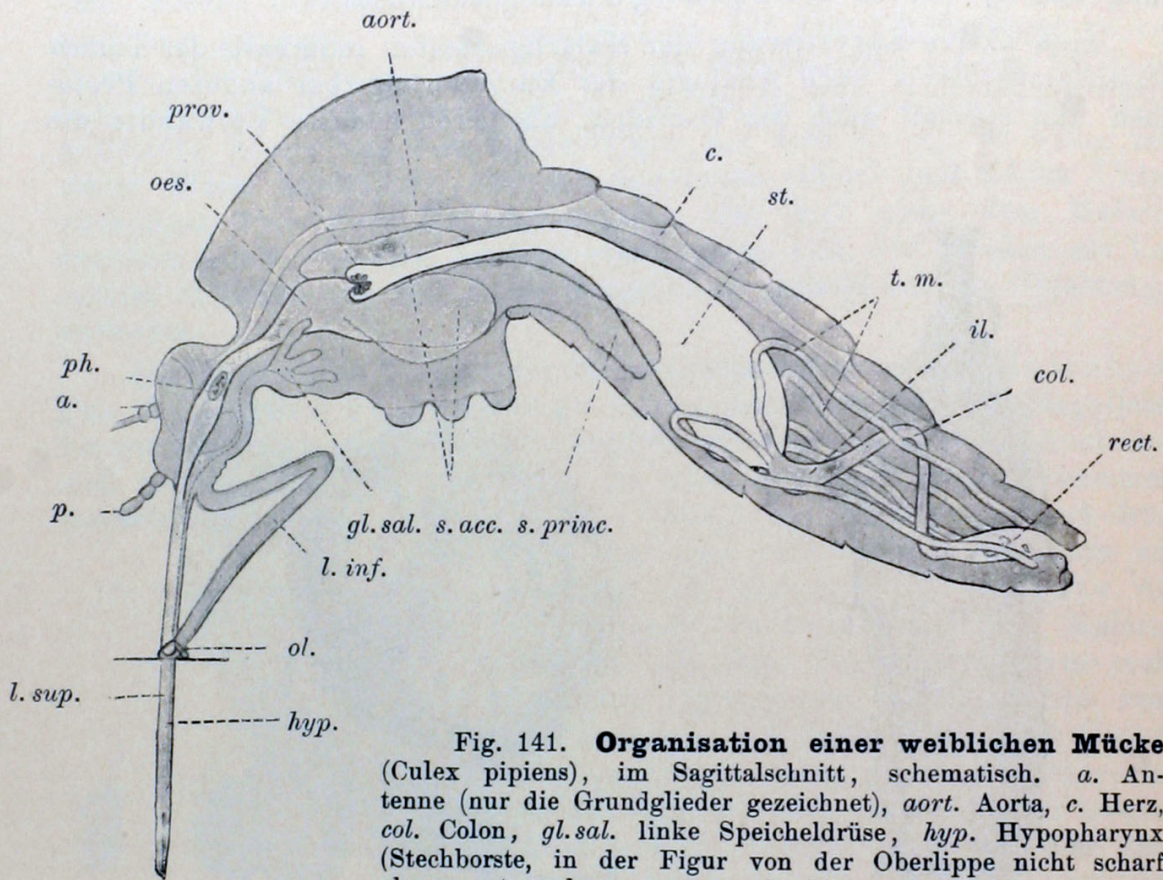


Fig. 141. **Organisation einer weiblichen Mücke** (*Culex pipiens*), im Sagittalschnitt, schematisch. *a.* Antenne (nur die Grundglieder gezeichnet), *aort.* Aorta, *c.* Herz, *col.* Colon, *gl. sal. s. acc. s. princ.* linke Speicheldrüse, *hyp.* Hypopharynx (Stechborste, in der Figur von der Oberlippe nicht scharf abgegrenzt und zusammen mit dieser sowie den nicht gezeichneten Ober- und Unterkiefern als Stechrüssel in die Haut eingesenkt), *il.* Ileum, *l. inf.* Unterlippe, *l. sup.* Oberlippe, *oes.* Oesophagus, *ol.* Olive (distales Ende der Unterlippe, als Führung für den in die Haut eingesenkten eigentlichen Stechrüssel gegen deren Oberfläche gegengepreßt), *p.* Kiefertaster (beim Weibchen von *Anopheles* im Gegensatz zu dem des hier dargestellten *Culex* so lang wie der Stechrüssel), *ph.* Pharynx, *prov.* Vormagen, *rect.* Rectum, *s. acc.* paarige dorso-laterale Blindsäcke des Saugmagens, *s. princ.* unpaarer ventraler Blindsack desselben, *st.* Mitteldarm (Magen), *t. m.* Malpighische Gefäße. Aus HARTMANN.

zigen Anophelendarm über 500 beobachtet. In der Regel ist hierbei die Ansiedlung der Parasiten auf die hinteren beiden Drittel des er-

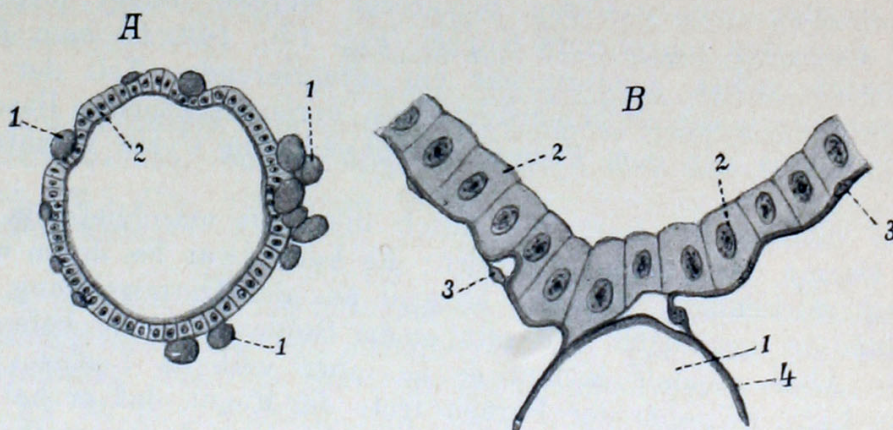


Fig. 142. **Querschnitt durch den Magen von *Anopheles* mit menschlichen Malariaparasiten.** *A* Uebersichtsbild eines ganzen Querschnitts, *B* Teil eines solchen bei stärkerer Vergrößerung. *1* Parasit (Sporont), *2* Darmepithel, *3* Tunica elastica muscularis des Darmes, *4* die von dieser gelieferte Hülle um den Parasiten. Nach GRASSI 1900.

weiterten, der Kürze wegen in der Malarialitteratur meist als Magen bezeichneten Abschnittes des Mitteldarmes beschränkt.

Nach seiner Ansiedlung in der Tunica elastico-muscularis des Mückenmagens verkürzt und verdickt sich der Sporont etwas, wird zunächst spindelförmig und alsdann eiförmig (Fig. 137, 20). Bei den kleinsten, schon eiförmig gewordenen Parasiten fand GRASSI den größten Durchmesser 5 μ , den kleinsten 4 μ lang. Sie wachsen aber bald heran, wenngleich dieses Wachstum, dem die elastische von der Tunica elastico-muscularis gebildete Kapsel keinerlei Hindernis entgegenstellt, sehr ungleichmäßig erfolgt, so daß auf demselben Entwicklungsstadium stehende Sporonten sehr verschiedene Größe zeigen können. So schwankt z. B. der Durchmesser der ausgewachsenen reifen Oocysten zwischen 30 und 90 μ , wenngleich er 60 μ nur selten überschreitet.

Gleichzeitig mit dem Wachstum der Sporonten geht eine die Sporogonie einleitende Vermehrung der Kerne einher, indem der eine Kern des Ookineten durch vielfach wiederholte direkte Teilung in zahlreiche Tochterkerne zerfällt unter gleichzeitiger allmählicher Abnahme der Größe der einzelnen Kerne.

Während dieser Kernvermehrung spielen sich nun auch charakteristische, in ihren Einzelheiten freilich nur sehr schwer genau festzustellende Vorgänge im Protoplasma des Sporonten ab, die dazu führen, daß auf Durchschnitten jeder Kern von einer Zone verdichteten Protoplasmas umgeben, der ganze Sporont also in eine größere Anzahl einzelner Zellen zerfallen erscheint, ähnlich wie der Sporont der Coccidien in mehrere Sporoblasten zerfällt. Die Form dieser anscheinenden Zellen ist freilich eine sehr unregelmäßige und wechselnde, bald mehr rundliche, bald mehr polygonale oder gar balkenförmig gestreckte. Auch sind die einzelnen derartigen Protoplasamassen nicht völlig voneinander gesondert, sondern sie stehen vielmehr durch brückenartige Verbindungen miteinander in Zusammenhang. GRASSI bezeichnet deshalb auch diese kernhaltigen Protoplasamassen zum Unterschiede von den regelmäßig gestalteten und völlig voneinander gesonderten Sporoblasten der Coccidien als „Sporoblastoiden“. Ihre Entstehung führte er darauf zurück, daß das Protoplasma an vielen, von den Kernen verhältnismäßig entfernt liegenden Stellen eine Verflüssigung erfahre. Hierdurch komme es zur Bildung mehr oder weniger komplizierter Lakunen oder Vakuolen, und diese seien es dann, die die Sonderung der „Sporoblastoiden“ zur Folge haben. Später hat SCHAUDINN (1904) aber die Ueberzeugung gewonnen, daß die fraglichen Bilder dadurch zustande kommen, daß der vorwiegend in einer (Längs-)Richtung wachsende Sporont sich innerhalb der annähernd kugeligen Kapsel stark aufknäuelte. Die „Sporoblastoiden“ würden also hiernach nur die Durchschnitte durch verschiedene Stellen eines durchaus einheitlichen Knäuels darstellen.

Während die Kerne anfänglich im Inneren dieser von GRASSI als „Sporoblastoiden“ bezeichneten Protoplasamassen lagen (Fig. 137, 21–23), rücken auf späteren Entwicklungsstadien die zahlreichen, durch die immer von neuem wiederholten Zweiteilungen entstandenen Tochterkerne an deren Oberfläche (Fig. 137, 24). Dort umgeben sie sich mit einem dünnen Protoplasamantel, der sich durch seine hyaline Beschaffenheit von dem mehr körnigen Plasma im Inneren

der „Sporoblastoiden“ unterscheidet. Derart entsteht an der Oberfläche der „Sporoblastoiden“ eine große Zahl von kleinen Zellen, die sich im weiteren Verlaufe der Entwicklung stark in die Länge strecken und sich schließlich von den hierbei unverbraucht übrig bleibenden körnigen Protoplasamassen (den Restkörpern, deren einer auch das hämatogene Pigment des ursprünglichen Makro-gametocyten enthält) als sogenannte Sporozoiten ablösen (Fig. 137, 25–26). Diese Sporozoiten (Fig. 137, 1) sind langgestreckt spindelförmig, mit einer Länge von 10–20 (im Mittel 14) μ bei einer Dicke von nur 1–2 μ . Ihr Plasma ist dicht, homogen, stark lichtbrechend.

Die Zahl der Sporozoiten, die von einem Sporonten gebildet werden, ist eine sehr erhebliche, unterliegt aber noch größeren Schwankungen wie die bereits erwähnte Größe der reifen Sporonten. Nach GRASSI beträgt sie bald nur etliche 100, bald über 10 000.

Die Dauer der Sporogonie ist abhängig von der Temperatur. Sie beträgt bei *Plasmodium vivax* bei 30° C ca. 8–9 Tage, gerechnet von der Blutaufnahme seitens des Anopheles; bei 24–25° C

beträgt sie dagegen schon 10 bis 12 Tage und bei 18–20° C 18–19 Tage. Bei einer zwischen 15 und 17° C schwankenden Temperatur hat nur noch JANCsó einmal die Sporogonie beobachtet, die indessen 53 Tage erforderte und nicht mehr als normal bezeichnet werden kann. Nicht nur war ein großer Teil der Sporonten bereits früher der Degeneration anheimgefallen, auch die reifen Cysten, welche am 53. Tage nach der Infektion der Mücken gefunden wurden, waren nicht völlig normal, die Speicheldrüsen waren nicht infiziert und zu einer Uebertragung der Malaria waren die betreffenden Anophelen, wie mehrere vergebliche Versuche lehrten, nicht befähigt. In ähnlicher Weise wie bei diesen niedrigen Temperaturen wurde auch bei erhöhten Tempera-

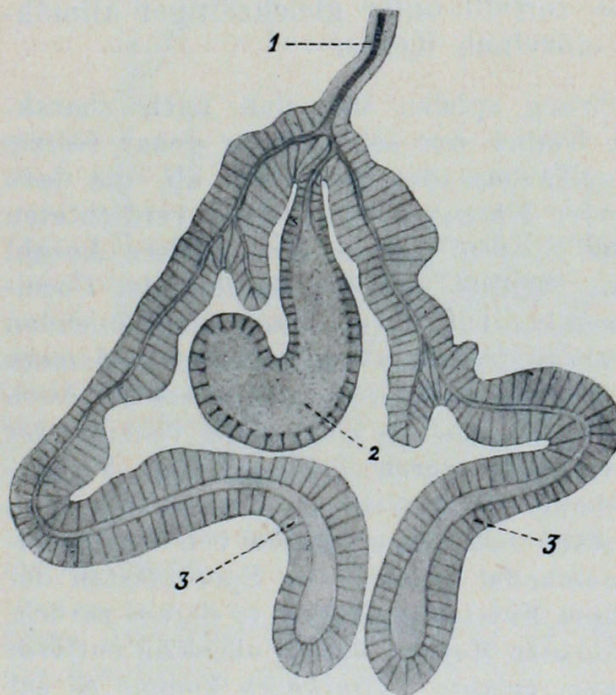


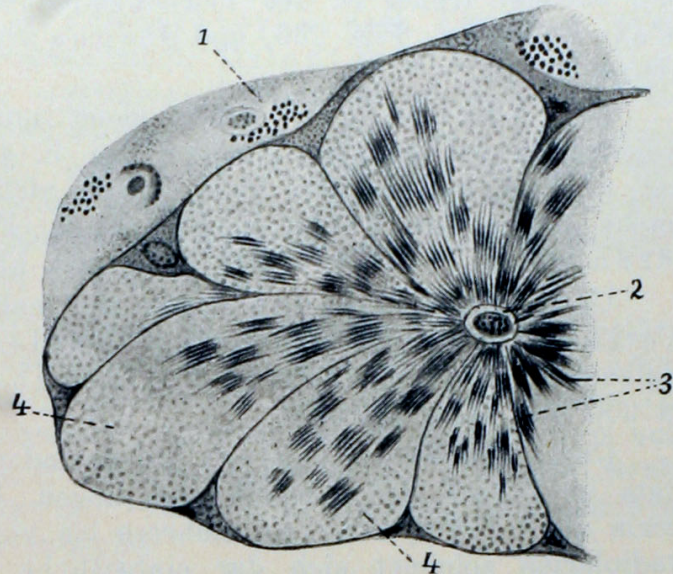
Fig. 143. Eine der beiden Speicheldrüsen von *Anopheles*. 1 Ausführungsgang, 2 mittlerer Drüsenschlauch, 3 paarige (dorsaler und ventraler) Drüsenschläuche. Nach GRASSI 1900.

turen von 35–37° C nach JANCsó nicht nur die Sporogonie des Tertianparasiten verlangsamt, sondern gleichzeitig erlitten die Parasiten eine degenerative Veränderung.

Wenn der Sporont reif geworden ist, so platzt die ihn umschließende Kapsel, vielleicht infolge eines Aufquellens der Restkörper, und durch die Oeffnung treten die Sporozoiten, die bereits innerhalb der reifen Oocyste Bewegungen ausführten, in die Leibeshöhle der Mücke aus, in der die Blutflüssigkeit zirkuliert (Fig. 137, 25–26). Mit dem Blutstrom gelangen sie in alle möglichen Organe, sammeln sich aber schließlich alle um die Speicheldrüsen der Mücke

und dringen, offenbar durch aktive Bewegungen, in diese ein. Sie finden sich dann in dem Sekret der einzelnen Drüsenzellen und gelangen mit diesem auch in den Hohlraum der Drüsengänge (Fig. 137, 27, sowie Fig. 144). Offenbar übt das Speicheldrüsensekret einen positiv chemotaktischen Einfluß auf sie aus (vgl. hierzu oben S. 109).

Fig. 144. Teil eines Querschnittes durch den dorsalen Drüsenschlauch einer Speicheldrüse von *Anopheles* mit Sporozoiten eines menschlichen Malaria-parasiten. 1 Fettkörper in der Umgebung der Speicheldrüse, 2 innere Cuticula des Drüsenganges (als heller Ring erscheinend, in dem von ihr umschlossenen Lumen des Drüsenganges Speichelsekret mit querschnittenen, als dunkle Punkte erscheinenden Sporozoiten), 3 Sporozoiten, 4 Sekret in den Drüsenzellen. Nach GRASSI 1900.



Sticht nun ein *Anopheles*, dessen Speicheldrüsen Sporozoiten enthalten, einen Menschen, so gelangen mit dem hierbei entleerten Sekret der Speicheldrüsen auch Sporozoiten in das Blut des betreffenden Menschen. Hier bohren sie sich dann in rote Blutkörperchen ein vermöge ihrer aktiven Bewegungen, die teils in seitlichen Krümmungen bestehen, namentlich des schärfer zugespitzten und stärker lichtbrechenden, offenbar von besonders dichtem Protoplasma gebildeten Vorderendes, teils in peristaltischen Kontraktionen, bei denen ringförmige Einschnürungen unter starker Verkürzung des Sporozoiten vom Vorderende zum Hinterende verlaufen. In dem roten Blutkörperchen wachsen sie dann zum Schizonten heran und damit ist das Entwicklungsstadium, von dem wir bei unserer Betrachtung ausgingen, wieder erreicht, der Entwicklungskreis des Malaria-parasiten also geschlossen.

Hinsichtlich weiterer Einzelheiten bezüglich der Entwicklung der Malaria-parasiten muß hier auf ROSS (1905), GRASSI (1901), SCHAUDINN (1902) und LÜHE (1906) verwiesen werden.

C. Der Kernapparat der Protozoen.

Die frühere Annahme, daß die niedrigsten als Moneren bezeichneten Protozoen kernlos seien, hat genaueren Untersuchungen nicht standgehalten. Soweit die fraglichen Formen mit modernen cytologischen Methoden untersucht wurden, ist auch bei ihnen ein Kern nachgewiesen worden, der somit offenbar allen Protozoen zukommt. Er liegt stets im Endoplasma.

Nicht selten finden sich jedoch statt eines mehrere bis viele Kerne. Es ist dies wohl fast immer (in vielen Fällen nachgewiesenermaßen) die Folge einer fortgesetzten Teilung eines ursprünglich, beim

ganz jugendlichen Tier, in der Einzahl vorhanden gewesenen Kernes. In vielen Fällen ist sogar diese Kernvermehrung nur eine frühzeitige Vorbereitung zur Fortpflanzung.

Die Mastigophoren besitzen fast durchweg nur einen einzigen Kern, wenn wir von dem unten zu besprechenden Kerndimorphismus absehen. Nur einzelne früher zu den Trichonymphiden gerechnete Polymastiginen (*Calonympha*, Fig. 235, und *Stephanonympha*) haben zahlreiche kleine Kerne.

Die Amoebozoen haben meist nur einen Kern. Ueber Abweichungen bei nackten Amöben vgl. S. 48. Von beschalteten Formen hat z. B. *Arcella* stets zwei (soweit nicht noch mehr) Kerne. Zahlreiche Kerne hat *Trichosphaerium* (Fig. 25). Von Foraminiferen hat *Orbitolites* sehr zahlreiche kleine Kerne.

Unter den Heliozoen finden sich neben einkernigen Arten (z. B. *Actinophrys*) auch mehrkernige (*Nuclearia*, *Gymnophrys*) und vielkernige (*Camptonema*, *Actinosphaerium*, letzteres mit bis zu 200 und mehr Kernen).

Unter den Radiolarien, wo der oder die bläschenförmigen Kerne stets im Innern der Zentralkapsel liegen, besitzen die *Acantharien* sowie die *Polycyttarien* mehrere bis viele Kerne. Bei den übrigen Radiolarien zeichnet sich der einheitliche Kern durch seine beträchtliche Größe und seinen komplexen Bau (vgl. S. 86 u. 149) aus.

Die Sporozoen sind sämtlich einkernig. Bei den polycystiden Gregarinen, deren Körper durch eine ektoplasmatISChe Querscheidewand in einen vorderen Protomeriten und einen hinteren Deutomeriten geteilt ist, liegt der bläschenförmige Kern stets im letzteren (Fig. 52).

Die Cnidosporidien sind meist mehr- bis vielkernig, doch finden sich unter den Microsporidien auch einkernige Formen.

Unter den Infusorien zeichnet sich *Opalina* durch den Besitz von zwei bis vielen morphologisch und physiologisch gleichwertigen Kernen aus.

In dieser Uebersicht ist noch keine Rücksicht genommen auf das Vorkommen mehrerer ungleichwertiger Kerne, das für die Infusorien und die Flagellatenordnung der Binucleaten charakteristisch, bei den Heliozoen umstritten, dagegen noch bei einzelnen anderen Sarcodinen (*Paramoeba*) sowie bei *Noctiluca* nachgewiesen ist. Bei allen diesen Formen kommen aber, so verschieden ihre Kernverhältnisse sonst auch sind, einkernige Entwicklungszustände vor, aus denen die mehrkernigen erst durch Kernteilung hervorgehen.

Die Infusorien besitzen in der Regel zwei verschieden große, cytologisch verschieden gebaute und physiologisch durchaus ungleichwertige Kerne. Der größere, Großkern (Makronucleus), beherrscht die Funktionen des Stoffwechsels und der Bewegung und geht bei der Konjugation zugrunde; der ihm dicht angeschmiegte winzige Kleinkern (Mikronucleus) spielt im Gegenteil bei der Konjugation die dominierende Rolle und erzeugt nach derselben durch Teilung wieder die beiden verschiedenartigen Kerne, versieht also generative und reproduktive Funktionen (näheres vgl. S. 121—126 sowie unten in dem Abschnitte über die Befruchtung).

Dieser für die Infusorien charakteristische Kerndimorphismus fehlt sicher nur der eben bereits ihrer Mehrkernigkeit wegen erwähnten *Opalina*, sowie anscheinend der einkernigen *Maupasina*, die von ihrem Entdecker SCHEWIAKOFF (1893) wegen des Besitzes von Geißeln neben Wimpern allen anderen Infusorien gegenübergestellt wird.

Einige andere, anscheinend noch verhältnismäßig ursprüngliche Infusorien (*Trachelocerca phoenicopterus* nach LEBEDEW 1908, *Loxodes rostrum* nach JOSEPH 1907, *Dileptus anser* nach DOFFLEIN) besitzen während ihres vegetativen Lebens zahlreiche kleine bläschenförmige, anscheinend gleichwertige Kerne. Bei der Vorbereitung zur Konjugation aber bilden sich Verschiedenheiten zwischen den Kernen aus, die zur Entstehung besonderer Mikronuclei (Geschlechtskerne) führen, wie sie die überwiegende Mehrzahl der Infusorien dauernd auch während des vegetativen Lebens besitzt.

Auch *Ichthyophthirius* scheint im erwachsenen Zustande keinen Mikronucleus zu besitzen; bei jungen Exemplaren ist jedoch ein Kerndimorphismus leicht erkennbar, der freilich von dem der anderen Infusorien nicht unwesentlich abweicht, insofern der als Mikronucleus aufgefaßte Kern verhältnismäßig groß, bläschenförmig ist, alveoläre Struktur zeigt und nach NERESHEIMER (1908) durch einen eigenartigen Knospungsvorgang aus dem Hauptkern entsteht.

Der Makronucleus vieler Ciliaten, namentlich der meisten kleineren Arten ist gleich dem Kern anderer Protozoen kugelig, ovoid oder ellipsoid. Bei anderen, vornehmlich den größeren Arten finden wir dagegen sehr abweichende Formen. Er kann sich wurstförmig in die Länge strecken und dabei hufeisenförmig auf sich selbst zurückkrümmen (z. B. *Didinium*, *Euplotes*, *Urocentrum*, *Ichthyophthirius* und viele *Peritricha*: *Vorticella*, *Carchesium* [Fig. 63], *Zoothamnium*, *Epistylis*, *Campanella* [Fig. 255], *Opercularia*, *Lagenophrys*) oder auch lang bandförmig werden und dabei Biegungen und Windungen bilden (z. B. *Trichodina*, *Ophrydium*, *Cothurnia* und manche *Heterotricha*: *Plagiotoma*, *Bursaria*, *Climacostomum*). Der bandförmige Kern kann in regelmäßigen Abständen Einschnürungen darbieten und dadurch perlschnur- oder rosenkranzförmig werden, um nur bei der Vorbereitung zur Teilung sich mehr zu konzentrieren (z. B. die *Heterotricha*: *Condyllostoma*, *Stentor* [Fig. 62], *Spirostoma*). Unter den Astomata haben *Intoshellina* (Fig. 296), und die *Anoplophryiden* (Fig. 274—276) in der Regel einen bandförmigen Kern, der bei *Anoplophrya alluri* und *striata* unregelmäßige Verdickungen aufweist, die sich bei *Rhizocaryum* zu wurzelartigen Ausläufern verlängern; hiervon ableitbar erscheint der Kern von *Foettingeria* und *Opalinopsis*, der infolge sehr starker Längsstreckung, Verzweigung und Anastomosenbildung die Form eines unregelmäßigen Netzwerkes gewinnt. Bei den Hypotrichen zerfällt der Makronucleus gewöhnlich in zwei, selten mehr, ellipsoidische Stücke, die aber miteinander durch dünne Verbindungsstränge verbunden sind (Fig. 302). Einige marine Infusorien endlich haben zahlreiche gesonderte Makronuclei, z. B. *Holophrya oblonga* (diese im Gegensatz zu der Süß- und Brackwasserart *Holophrya discolor*), *Holosticha multinucleata*, *Uroleptus*, *Epiclintes* — ganz abgesehen von den schon erwähnten vielkernigen Formen ohne dauernd persistierende Mikronuclei.

Der Mikronucleus ist dort, wo der Großkern gedrungene Form hat, meist in der Einzahl vorhanden. Wo aber der Großkern langgestreckt, band- oder perlschnurförmig ist, finden sich häufig mehrere bis viele Mikronuclei, auf die ganze Länge des Makronucleus verteilt (z.B. *Condyllostoma*, *Bursaria*, *Stentor*, [Fig. 62], *Spirostoma*). Bei den Hypotrichen liegt jedem Stück des Großkerns ein Kleinkern an (z.B. *Stylonychia*, Fig. 302) und bei *Loxodes* und *Trachelocerca* bilden sich entsprechend den zahlreichen Hauptkernen auch zahlreiche Mikronuclei.

Bei den Suctoria wiederholen sich ähnliche Verhältnisse wie bei den Ciliaten. Der Großkern ist meist gedrungen (kugelig, eiförmig, spindelförmig, wurstförmig, sichelförmig oder hufeisenförmig), kann aber auch band- oder strangförmig werden (z. B. *Tocophrya elongata*, *Acineta linguifera* und *tuberosa*, *Ophryodendron belgi-*

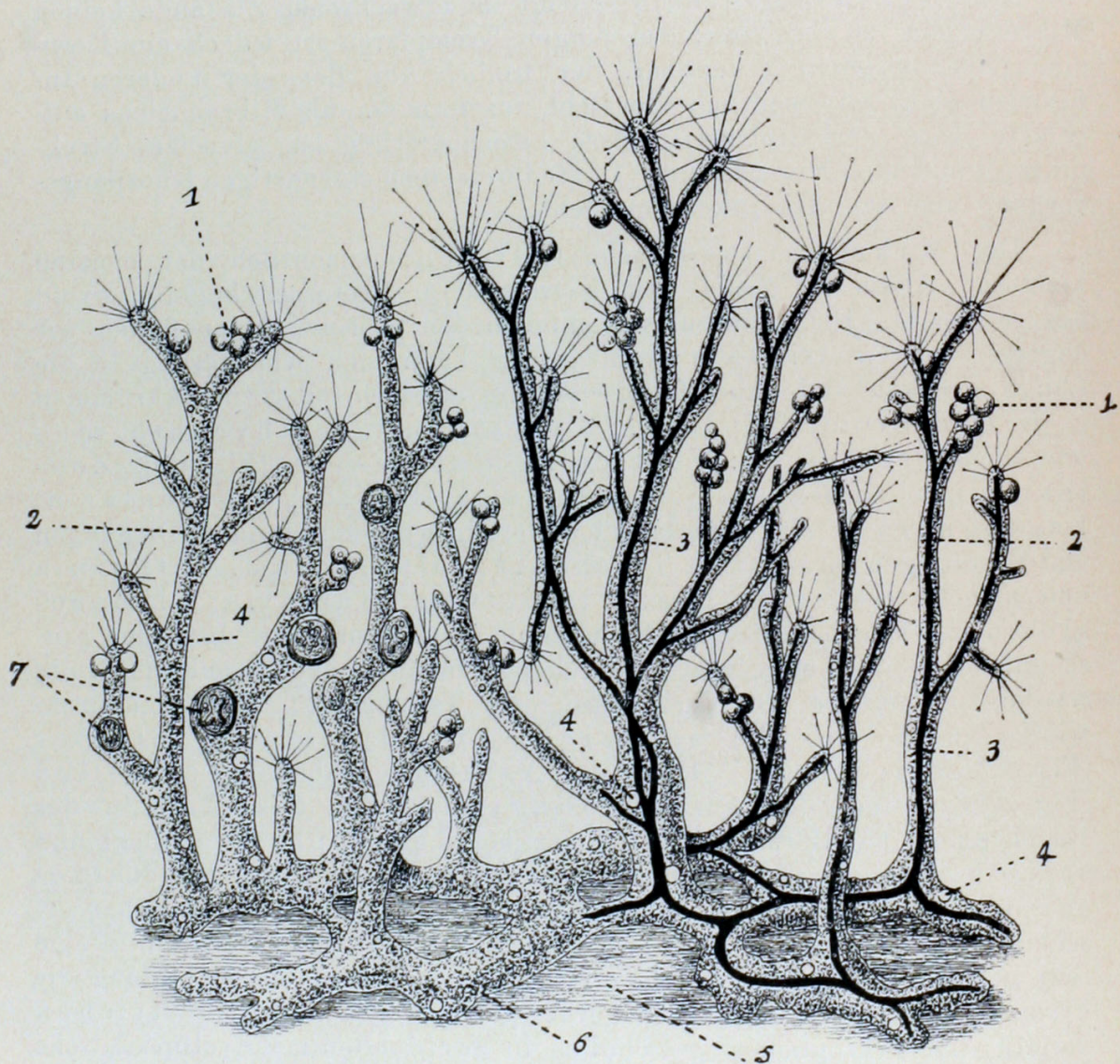


Fig. 145. **Dendrosoma radians** EHRB. Ueppig entwickeltes, reich verästeltes Exemplar. Höhe bis 2,4 mm. 1 Eine andere, auf *Dendrosoma* lebende Acinetenart, *Urnulla epistylidis* CL. & L., 2 aufrechte verzweigte Stämmchen von *Dendrosoma*, 3 bandförmiger, allen Verzweigungen folgender Kern (nur in der rechten Hälfte der Figur schematisch eingezeichnet), 4 kontraktile Vakuolen, 5 Unterlage (Oberfläche einer Wasserpflanze), 6 dieser Unterlage sich anschmiegende Äste (Stolonen), 7 Knospen des *Dendrosoma*. Nach S. KENT 1880—1882, von LANG etwas verändert.

cum) oder, besonders bei zunehmendem Alter, sich verästeln (Arten der Gattungen *Ephelota*, *Ophryodendron*, *Trichophrya*). Bei *Tocophrya striata* gehen von einer zentralen Partie des Makronucleus nach allen Richtungen Zweige ab, die sich selbst wieder verästeln können. Bei *Dendrosoma* (Fig. 145), dessen Zweige selbst vielfache Aeste bilden, erstreckt sich der bandförmige Großkern, indem er sich ebenfalls verzweigt, in sämtliche Aeste hinein.

Der Mikronucleus ist bei den Suctorien wahrscheinlich ebenso allgemein verbreitet wie bei den Ciliaten, aber nur bei einem verhältnismäßig kleinen Teil der Arten nachgewiesen. Meist wird angegeben, er sei nur in Einzahl vorhanden; *Dendrocometes paradoxus* besitzt aber neben einem einfachen ovalen Großkern 2—5 (meist 3) Mikronuclei und bei *Dendrosoma* sind zahlreiche Kleinkerne vorhanden.

Ganz anderer Art wie bei den Infusorien ist die Doppelkernigkeit bei Binucleaten, Heliozoen (?), *Paramoeba* und *Noctiluca*. Für deren Verständnis ist es aber nötig, zuvor die Konstitution des Protozoenkernes, wie sie uns bei seiner Teilung enthüllt wird, zu betrachten. Die Kernteilung der Protozoen ist im Laufe der letzten Jahre von verschiedenen Forschern in sehr minutiöser Weise untersucht worden und diese Untersuchungen haben es ermöglicht, daß HARTMANN (1911) den Versuch wagen konnte, die überaus mannigfaltigen Vermehrungsweisen der Protozoenkerns, die noch vor kurzem ein geradezu kaleidoskopisches Bild boten, zu einem gesetzmäßigen Ganzen aneinander zu fügen.

HARTMANN unterscheidet:

1. Echte Karyosomkerne (bei Amöben, Flagellaten u. a. weit verbreitet). Im einfachsten Falle, der durch die Amöben vom Typus der *A. limax* repräsentiert wird, sind das ganze Chromatin und Plastin in einer fast homogen erscheinenden Kugel (dem Karyosom) vereinigt, die nur durch eine helle Kernsaftzone von dem umgebenden Plasma getrennt ist; Kernmembran und Liningerüst fehlen (Fig. 146, I, a). Genauere Untersuchung zeigt aber im Karyosom noch ein zentrales Korn, das Centriol. An der Peripherie des Karyosoms können kleine chromatische Körnchen auftreten, die in die Kernsaftzone übertreten, um dort entweder zu verschwinden oder als sogenannte Chromidien in das Plasma weiterzuwandern (Ausdruck zyklischer Veränderungen am Karyosom). Bei der Teilung teilt sich zuerst das Centriol, dessen Teile zunächst noch durch eine Fibrille (Centradesmose) verbunden bleiben (b). Dann folgt die Teilung des Karyosoms, wobei dessen chromatische Elemente sich größtenteils als Polkappen an den Polen einer ellipsoiden achromatischen Zentralspindel ansammeln, zwischen denen sich in der Mitte eine feine chromatische Aequatorialplatte bildet (c). Diese spaltet sich in 2 Tochterplatten (d), worauf die Durchschnürung des ganzen Kernes und die Regeneration der beiden Tochterkerne folgt. Bei Beschleunigung der Teilung (experimentell durch höhere Temperatur zu erzielen) entstehen infolge Undeutlichwerdens der Einzelheiten meist einfache, nur scheinbar amitotische Durchschnürungsbilder (e, f). HARTMANN betrachtet von den angeführten Elementen des Kernes die Chromosomenplatte als idiogenerative Komponente, Zentralspindel, Polkappen und Centriol zusammen als lokomotorisch-generative Komponente. Die geschilderte Art der Teilung des Kernes, die keine völlig direkte ist und doch noch wesentlich einfacher verläuft als die

Mitose der Metazoenkerne, bezeichnet HARTMANN im Anschluß an CHATTON (1910) als Promitose.

Komplikationen dieses einfachsten Typs finden sich bei Karyosomkernen nach der Richtung, daß eine Kernmembran auftritt (z. B. bei *Spongomonas uvella*, Fig. 146, II, bei der die chromatischen Pol-

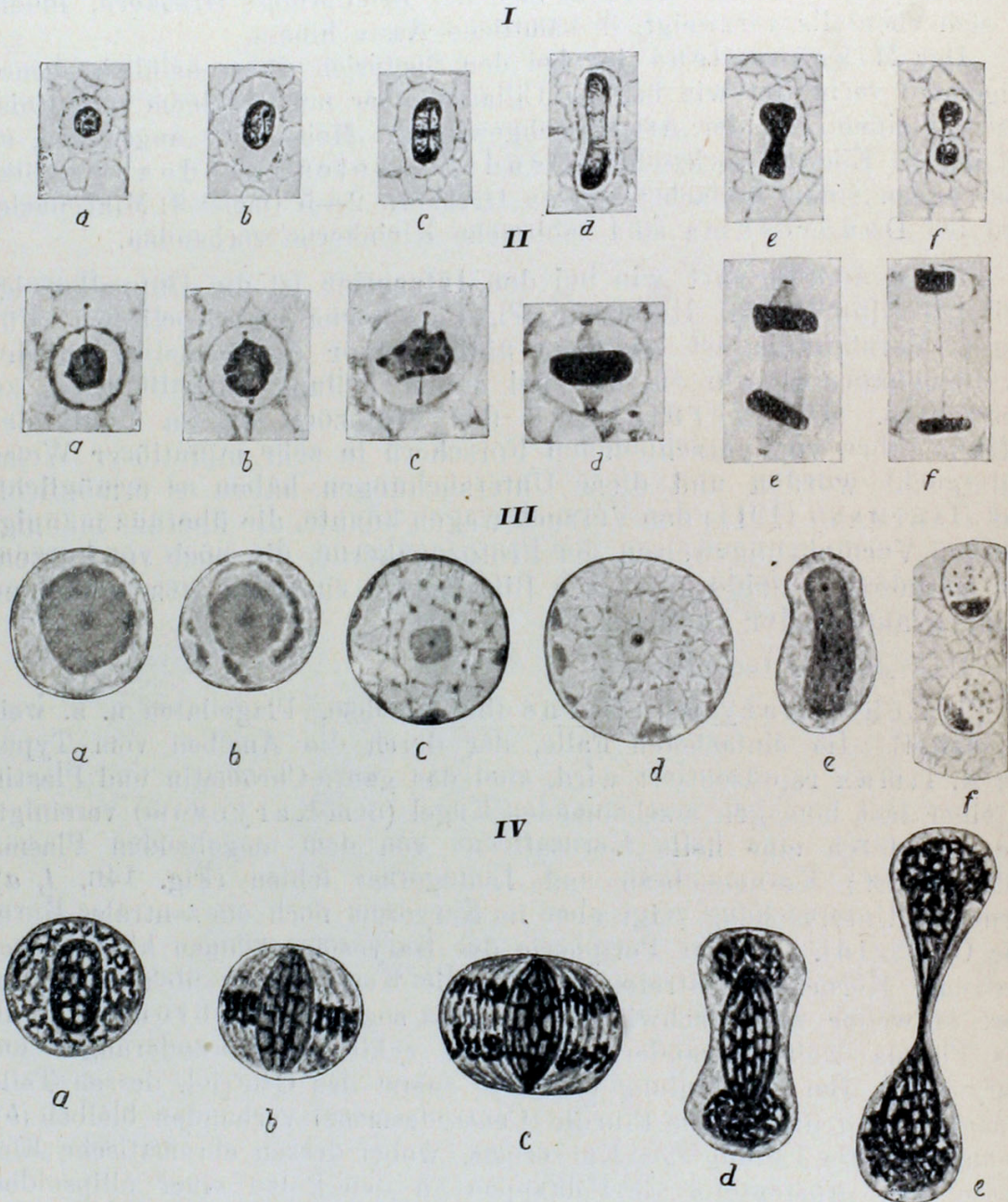


Fig. 146. **Echte Karyosomkerne** (aus HARTMANN 1911). **I** Karyosomkern ohne Kernmembran und ohne Liningerüst von *Amoeba (Vahlkampffia) limax* (nach NÄGLER 1909): a—d gewöhnliche, e—f abgekürzte Kernteilung. **II** Karyosomkern mit Kernmembran von *Spongomonas uvella* (nach HARTMANN & CHAGAS 1910). **III** Karyosomkern mit Kernmembran und Liningerüst von *Entamoeba tetragena* (nach HARTMANN 1908): a—d zyklische Veränderungen am Karyosom, e—f Kernteilung. **IV** Karyosomkern mit stark entwickeltem „Außenkern“ von *Chlamydomphrys stercorea* (nach SCHAUDINNS Nachlaß). Weitere Erklärungen siehe im Text.

kappen fehlen, die achromatische Spindel dagegen besonders deutlich ist), auch können Chromatinkörnchen in der Kernsaftzone liegen und es kann ein Liningerüst auftreten. Bei *Entamoeba tetragena* (Fig. 146, III) ist dieses Liningerüst sehr gut ausgebildet und sind die

zyklischen Veränderungen am Karyosom besonders stark ausgeprägt, so daß bei dem zentrifugalen Abbau des Karyosoms durch Abwanderung von Chromatinkörnchen in das Liningerüst (III, b, c) mitunter fast nur

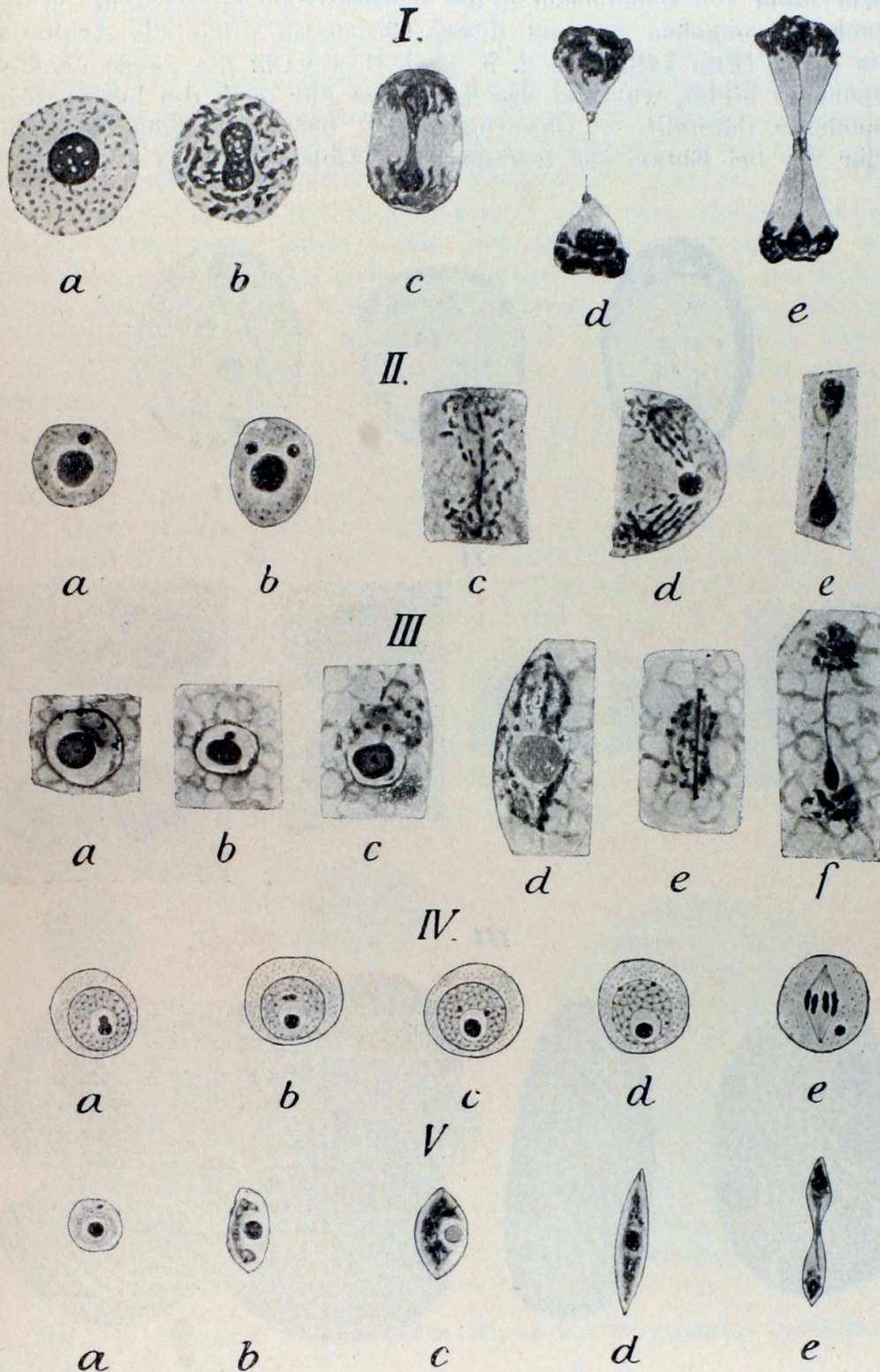


Fig. 147. **Pseudokaryosomkerne und deren Ableitung** (aus HARTMANN 1911). **I** Echter Karyosomkern von **Eimeria schubergi** (nach SCHAUDINN 1900). **II** Pseudokaryosomkern mit Nucleocentrosom (Centriol) von **Adelea zonula** (nach MOROFF 1906). **III** Abtrennung des Centriols vom ursprünglich echten Karyosom (a—c) und Kernteilung von **Haemogregarina lutzi** (nach HARTMANN und CHAGAS 1910). **IV** Desgleichen von **Myxobolus pfeifferi** (nach KEYSSELITZ 1908). **V** Pseudokaryosomkern von **Ophryocystis** (nach LÉGER).

das Centriol übrig bleibt (*d*), ähnlich wie dies für gewisse Metazoen-Centrosome bekannt geworden ist. Bei manchen Amöbinen sowie bei fast allen Euglenoideen endlich findet sich ein Karyosomkern, bei dem das Karyosom von reichlichem in der Kernsaftzone zerstreutem Chromatin (Außenkern) umgeben ist und dieses Chromatin allein die Aequatorialplatte liefert (Fig. 146, IV), d. h. nach HARTMANN die ganze generative Komponente bildet, während das Karyosom nur noch die lokomotorische Komponente darstellt. — CHATTON (1910) bezeichnet eine Kernteilung, bei der wie bei *Entamoeba tetragena* und *Chlamydomorphys stercorea* eine

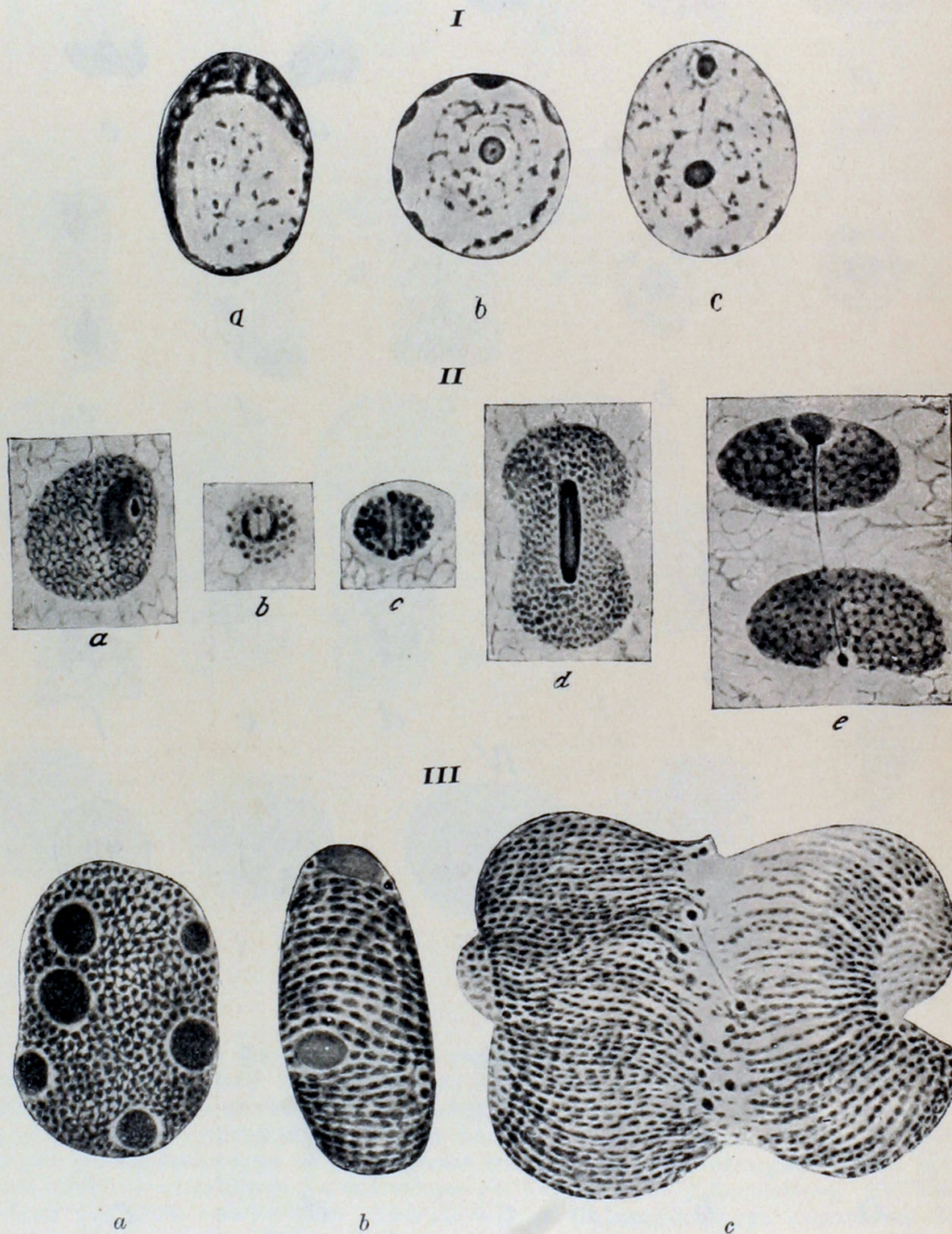


Fig. 148. **Massige Kerne und deren Ableitung** (aus HARTMANN 1911). **I** Kerne von *Entamoeba testudinis* mit verschiedenen Stadien zyklischer Veränderungen am Karyosom, wodurch zeitweise (*a*) Karyosom und Centriol kaum erkennbar sind (nach HARTMANN 1910). **II** Kern und Kernteilung von *Gymnodinium fucorum* mit Karyosom und Centriol (nach JOLLOS 1910). **III** Desgleichen von *Ceratium*: *a* ruhender Kern mit Nukleolen ohne erkennbares Centriol, *b—c* Kernteilungsstadien mit Centrodiesomen (nach JOLLOS 1910).

deutliche Spindel innerhalb einer Kernmembran gebildet wird, im Gegensatz einerseits zur einfacheren Promitose der Limaxamöben und andererseits zur „Metamitose“, bei der die Kernmembran aufgelöst wird, als Mesomitose.

2. Die Pseudokaryosomkerne (Fig. 147) sind ebenso wie die Karyosomkerne bläschenförmig und auch bei ihnen findet sich ein größerer chromatischer Binnenkörper. Dieser hat jedoch nur vegetative (trophische) Funktionen und ist also kein echtes Karyosom mehr, da für dieses die lokomotorisch-generativen Funktionen wesentlich sind. Wohl kann im jugendlichen Pseudokaryosomkern noch ein typisches Karyosom vorhanden sein, aber dieses „teilt sich heteropol und schnürt so ein kleines Korn ab, welches sich nun seinerseits teilt und die Rolle des Centriols bei der Mitose übernimmt, während der Rest des Karyosoms als somatischer Nucleolus eliminiert wird“ (vgl. namentlich Fig. 147, III und IV). Bei der Kernteilung kann es schon zum Bilde einer vollkommenen Mitose kommen, wie wir sie von den Metazoen kennen; aber im wesentlichen Gegensatz zu den Metazoen spielt sich das ganze Bild ausschließlich innerhalb des Kernes ab, ohne daß Plasma zur Spindelbildung mit hineingezogen wird (vgl. Fig. 147, IV, e).

3. Ganz anders gestaltet sind die massigen Kerne, verhältnismäßig große Kerne, in denen ein größerer Binnenkörper nicht hervortritt, die vielmehr mehr oder weniger gleichmäßig strukturiert sind, mit dicht zusammengedrängtem Chromatin. Sie finden sich vor allem bei der Mehrzahl der Dinoflagellaten und Infusorien. HARTMANN leitet sie von dem Karyosomkern ab durch Vermittelung von Kernen mit stark ausgeprägten zyklischen Veränderungen am Karyosom (Fig. 148).

4. Allen bisher erwähnten „monoenergiden“ Kernen stellt HARTMANN die komplizierter gebauten Kerne der Radiolarien und Trichonymphen sowie einzelner Heliozoen (*Wagnerella*) und Coccidien

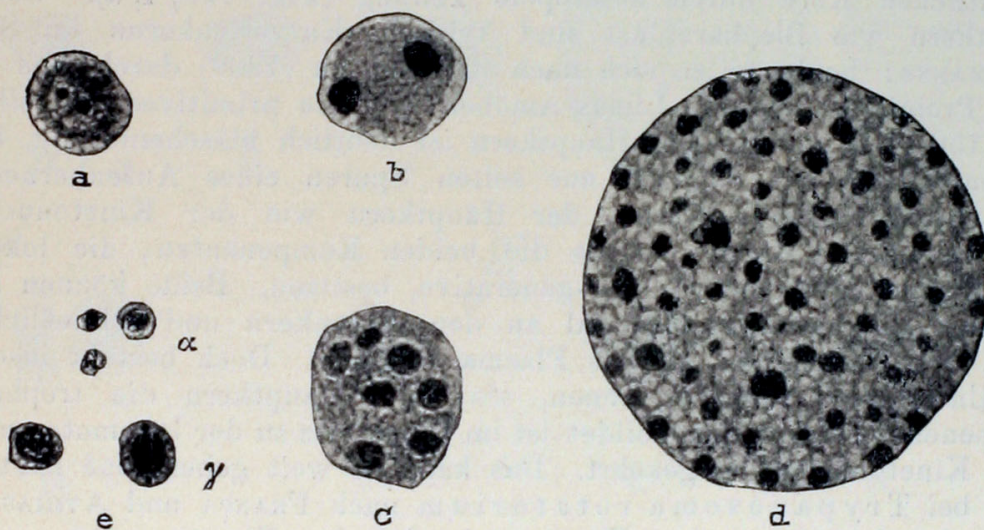


Fig. 149. Bildung polyenergider Kerne bei *Wagnerella borealis*. Nach ZÜLZER 1909 aus HARTMANN 1911.

(*Adelela*) als „polyenergide Kerne“ gegenüber. Als Typus für ein solches Polykaryon mag hier *Wagnerella* dienen. „Hier teilt sich im Innern des Primärkernes das mit einem deutlichen Centriol ausgestattete Karyosom fortgesetzt durch Zweiteilung und so entstehen Kerne mit einer großen Anzahl von Karyosomen, die infolge ungleichen Wachstums ganz verschiedene Größe aufweisen können (Fig. 149, a—d).

Bei den verschiedenen Vermehrungsarten der Heliozoe zerfällt entweder das ganze Polykaryon oder es treten nur einzelne Sekundärkerne durch Knospung aus ihm heraus.“ Alle multiplen Kernteilungen bei Protozoen faßt HARTMANN als einen derartigen Zerfall polyenergider Primärkerne in monoenergide Sekundärkerne, die mitotische Figur bei der Zweiteilung von *Aulacantha* (Fig. 104 und 105) als „gleichzeitige parallele Teilung der Sekundärkerne (Chromosomen) eines Polykaryons unter dem Bilde einer Mitose“ auf.

Auf weitere cytologische Einzelheiten kann hier nicht eingegangen werden. Es muß jedoch erwähnt werden, daß HARTMANN'S Auffassung der Protozoenkerne noch keineswegs unbestritten ist. Sie wird aber zweifellos in vielen Protozoenarbeiten der nächsten Zeit eine wichtige Rolle spielen und damit auch die Feuerprobe auf ihre fernere Berechtigung zu bestehen haben.

Im Anschluß an diese Besprechung der verschiedenen Kernformen sei noch angeführt, daß jeder stark funktionierende Kern unter Umständen Chromatinkörnchen in mehr oder weniger großer Menge an das Plasma abgeben kann. Solche in das Plasma getretene Chromatinkörnchen bezeichnet man mit R. HERTWIG als Chromidien.

Nunmehr können wir die funktionelle Doppelkernigkeit bei Binucleaten, Heliozoen (?), *Paramoeba* und *Noctiluca* betrachten.

1. Bei den Trypanosomen findet sich neben dem Hauptkern noch ein chromatisches Gebilde, welches mit dem Randfaden der undulierenden Membran in Verbindung steht, der Blepharoplast oder Kinetonucleus. Nach den Feststellungen von SCHAUDINN (1904) und PROWAZEK (1905) entsteht er nach der Befruchtung aus dem ursprünglich einheitlichen Kern durch heteropole Teilung (Fig. 150, I, a). Sowohl Hauptkern wie Blepharoplast sind typische Karyosomkerne im Sinne HARTMANN'S; beide teilen sich nach ROSENBUSCH (1909) durch eine ähnliche Promitose wie die *Limax*-Amöben und die primitiven Flagellaten (Fig. 150, I, d und e). Der Hauptkern ist deutlich bläschenförmig, beim Blepharoplast sind dagegen nur selten Spuren eines Außenkernes zu beobachten. „Beide Kerne, der Hauptkern wie der Kinetonucleus, sind vollwertige Kerne, welche die beiden Komponenten, die lokomotorisch-generative und die idio-generative, besitzen. Beide können auch peripher chromatisches Material an den Außenkern und schließlich in Form von Chromidien an das Plasma abgeben. Doch besteht insofern ein Unterschied zwischen ihnen, als beim Hauptkern die trophische Komponente stärker ausgebildet ist im Gegensatz zu der lokomotorischen, beim Kinetonucleus umgekehrt. Das kann so weit gehen, daß letzterer, z. B. bei *Trypanosoma rotatorium* nach FRANÇA und ATHIAS, die Rolle der lokomotorischen Komponente für den Hauptkern übernimmt, indem er als Centrosom die Pole der Hauptkernspindel einnimmt. Immer aber ist der Hauptkern noch omnipotent, da er nach Verlust des Blepharoplasten stets wieder einen neuen bilden kann. Dagegen scheint der Kinetonucleus für sich allein nicht imstande zu sein, das Zellleben dauernd zu erhalten. Denn hauptkernlose Formen, die bei manchen Trypanosomenarten häufig beobachtet werden, und die man, wie PROWAZEK (1908) in einem interessanten Versuch gezeigt hat, auch experimentell erzeugen kann, leben zwar noch eine Zeitlang, ja sie vermögen

sich sogar noch zu teilen, was bei dem Ueberwiegen der lokomotorischen Komponente verständlich erscheint; nach ein oder zwei Teilungen sterben sie jedoch regelmäßig ab“ (HARTMANN 1911). Ein analoger Kerndimorphismus findet sich bei fast allen eben deshalb von HARTMANN als Binucleaten zusammengefaßten Flagellaten (darunter die überwiegende Mehrzahl der Blutparasiten), sehr deutlich z. B. auch bei den geißellosen Babesien. Nur bei den Malaria Parasiten des Menschen fehlt er, ist dafür aber von HARTMANN bei dem diesen so nahe stehenden *Proteosoma* der Vögel nachgewiesen worden (vgl. Fig. 139).

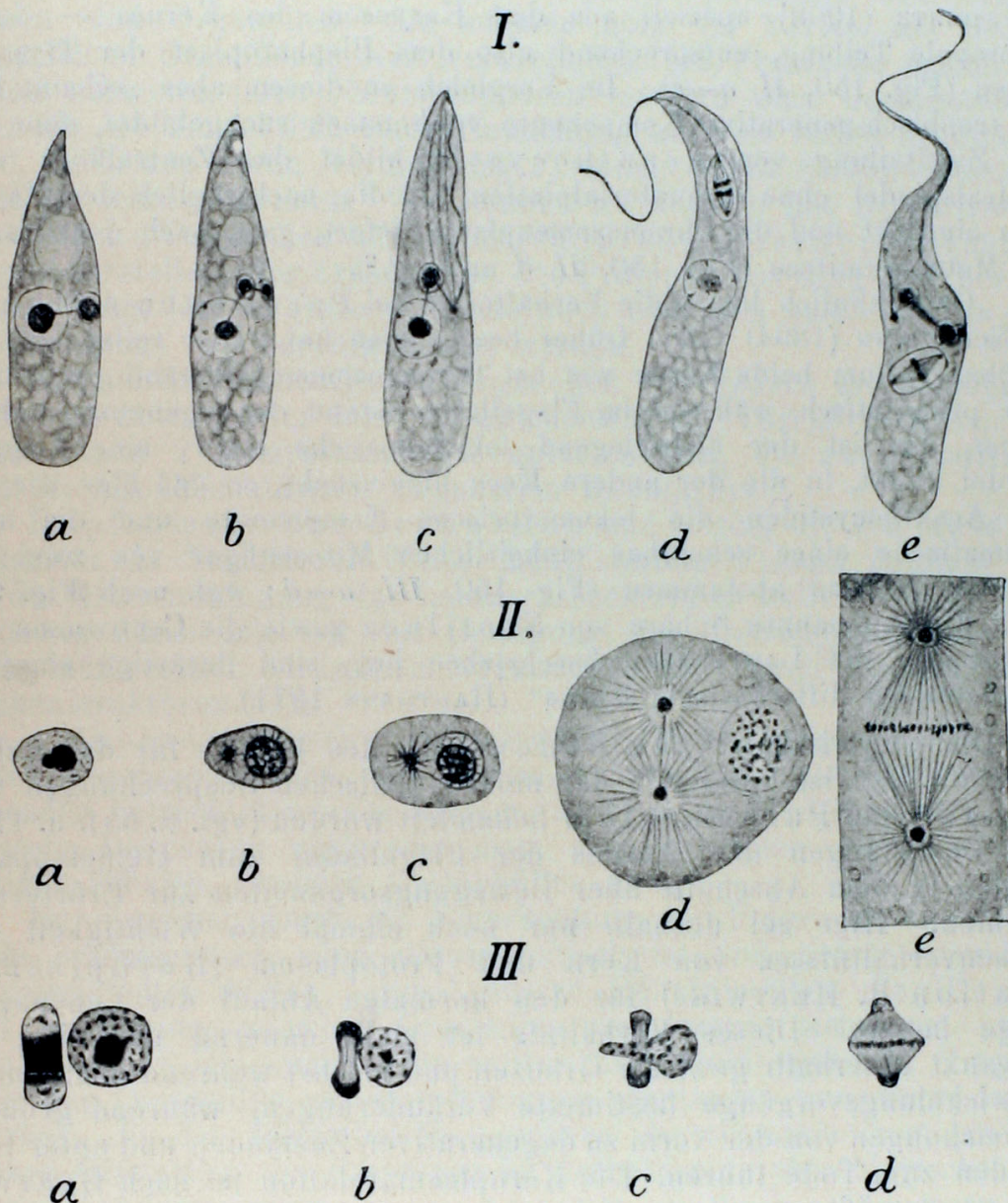


Fig. 150. **Doppelkernige Protozoen** (aus HARTMANN 1911). **I Haemoproteus noctuae.** *a-c* Bildung des Blepharoplasten und der Geißel durch heteropole Kernetteilungen, *d* mitotische Teilung des Blepharoplasten bei Beginn der Vermehrung durch Zweiteilung, *e* etwas späteres Teilungsstadium mit mitotischer Teilung des Hauptkernes (nach verschiedenen Autoren kombiniert). **II Acanthocystis aculeata** (*a-b* zeigen nur den Kern, *c-e* den Kernapparat mit umgebendem Protoplasma). *a-c* Bildung des Zentralkornes (lokomotorischen Kernes?) durch heteropole Karyosomteilung, *d-e* Entstehung der Mitose durch Zusammenwirken beider Kerne (nach SCHAUDINN 1896). **III Parameoeba eilhardi.** Hauptkern und sog. Nebenkern, die sich im Amöbenstadium gesondert teilen, während sie im Flagellatenstadium durch Zusammenwirken (*b-d*) eine einzige Mitosefigur bilden (nach SCHAUDINN 1894).

2. Bei Heliozoen findet sich sehr häufig ein sogenanntes Zentralkorn in der Mitte des Körpers, von dem die elastischen Fibrillen der Axopodien ausstrahlen (vgl. die Abschnitte über Stütz- und Schutzorganellen und über Bewegungsorganellen), als ein im Leben ziemlich stark lichtbrechendes Körperchen, das sich durch verschiedene Kernfärbemittel stark färben läßt. Bei den betreffenden Heliozoenformen (nur *Gymnophrys* ist unter ihnen mehrkernig) liegt der Kern exzentrisch. Die Entstehung des Zentralkorns und sein Verhalten bei der Teilung sind am besten von *Acanthocystis aculeata* bekannt¹⁾. Nach SCHAUDINN (1896) entsteht es aus dem Kern — und zwar nach KEYSSELITZ (1908) speziell aus dem Karyosom des Kernes — durch heteropole Teilung, entsprechend also dem Blepharoplast der Trypanosomen (Fig. 150, II, *a—c*). Im Vergleich zu diesem aber „scheint hier die trophisch-generative Komponente vollkommen rückgebildet, denn bei der Zweiteilung von *Acanthocystis* bildet das Zentralkorn eine Zentralspindel ohne Aequatorialplatten, in die nachträglich der Hauptkern einrückt und die Chromosomenplatte liefert, ganz nach dem Muster der Metazoenmitose (Fig. 150, II, *d* und *e*)“²⁾.

„Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse bei *Paramoeba eilhardi*, die SCHAUDINN (1894) schon früher beschrieben hat. Hier teilen sich im Amöbenstadium beide Kerne wie bei Trypanosomen selbständig mitotisch resp. promitotisch, während im Flagellatenzustand der sogenannte Nebenkörper, das ist der überwiegend lokomotorische Kern, eine Zentralspindel bildet, in die der andere Kern hineinrückt, so daß hier wie bei den *Acanthocystiden* die lokomotorische Komponente und die idiochromatische einer scheinbar einheitlichen Mitosenfigur von zwei getrennten Kernen abstammen (Fig. 150, III, *a—d*; vgl. auch Fig. 95). Auch die sogenannte Sphäre von *Noctiluca* sowie die Centrosome der Diatomeen, die LAUTERBORN beschrieben hat, sind derartige einseitig lokomotorisch differenzierte Kerne“ (HARTMANN 1911).

Die physiologische Bedeutung des Kernes für das Leben der Protozoen ist bereits in den monographischen Besprechungen von *Amoeba* und *Paramaecium* behandelt worden (vgl. S. 65 f. u. 117). Die Beziehungen des Kernes der Flagellaten zum Geißelapparat werden in dem Abschnitt über Bewegungsorganellen zur Erörterung kommen. Hier sei deshalb nur noch einmal die Wichtigkeit des Massenverhältnisses von Kern und Protoplasma (Kernplasmarelation R. HERTWIGS) für den normalen Ablauf der Lebensvorgänge betont. Dieses Verhältnis ist nicht dauernd dasselbe; es schwankt innerhalb gewisser Grenzen und erfährt während bestimmter Entwicklungsvorgänge bestimmte Veränderungen, während größere Abweichungen von der Norm zu degenerativen Zuständen und unter Umständen zum Tode führen. Die Kernplasmarelation ist nach HERTWIG „ein gesetzmäßig regulierter Faktor, dessen Größe für alle vom Kern beeinflussten Lebensvorgänge der Zelle, für Assimilation und organisierende Tätigkeit, für Wachstum und Teilung, von fundamentaler Bedeutung ist“. Hinsichtlich aller Einzelheiten kann auch hierfür wieder auf die Besprechung von *Paramaecium* verwiesen werden (vgl. S. 119 f.).

1) Bei *Wagnerella* sind die Beziehungen des Zentralkorns zur Teilung des Kernes nach ZÜLZER weniger eng wie bei *Acanthocystis*.

2) Die von HARTMANN angenommene Kernnatur des Zentralkorns und damit auch die Doppelkernigkeit der Heliozoen wird von anderer Seite nicht ohne Grund ganz entschieden bestritten. Vgl. namentlich JANICKI 1912.

D. Vergleichende Uebersicht der verschiedenen plasmatischen Organellen der Protozoenzelle.

Die Organellen der Protozoen, welche schon auf S. 44 im allgemeinen kurz charakterisiert wurden und mit den Organen der Metazoen trotz vielfacher physiologischer Vergleichspunkte morphologisch völlig unvergleichbar sind, sind außerordentlich mannigfaltig und auch unter sich morphologisch ungleichwertig.

Auch die vorstehend bereits besprochenen Kerne und Centrosomen sind Organellen. Sie nehmen aber im Verein mit den in pflanzlichen Organismen weit verbreiteten, bei Protozoen jedoch nur selten vorkommenden Chromatophoren insofern eine Sonderstellung ein, als sie hinsichtlich ihrer Entstehung auf sich selbst angewiesen sind, d. h. nur durch Vermehrung (Teilung) schon vorhandener neugebildet werden können. Wir können sie deshalb mit BÜTSCHLI als autonome Organellen allen anderen (plasmatischen) Organellen gegenüberstellen, die Erzeugnisse des Protoplasmas sind und bei der Vermehrung der Protozoen (sowie auch eventuell nach Verlust oder Rückbildung) neu hervorgebracht werden.

Auch diese plasmatischen Organellen sind jedoch morphologisch-genetisch noch wieder sehr verschiedenwertig. Vor allem lassen sich unter ihnen 2 Hauptkategorien unterscheiden, die euplasmatischen und die alloplasmatischen Organellen BÜTSCHLIS.

Euplasmatische Organellen sind solche, die von etwas verändertem, in besonderer Weise modifiziertem Plasma gebildet und an der Hervorbringung der Lebenserscheinungen aktiv beteiligt sind, also vor allem alle bei der Bewegung, der Nahrungsaufnahme und dem Stoffwechsel wirksamen Organellen, aber auch manche Oberflächenstrukturen u. a.

Alloplasmatische Organellen sind dagegen solche, die, durch Abscheidung aus dem Plasma entstanden, nicht eigentlich als lebendig betrachtet werden können, so groß im übrigen ihre physiologische Bedeutung auch sein mag, also vor allem die so mannigfaltigen Schalen, Skelette, Cystenhiüllen u. dgl.

Im einzelnen kann die Entscheidung der Frage, ob eine Organelle euplasmatisch oder alloplasmatisch ist, oft genug erhebliche Schwierigkeiten bieten, zumal unsere Kenntnis über die Herkunft und Entstehung mancher Organellen noch wenig sicher ist. Noch weniger aber ist zurzeit eine weiter ins einzelne gehende Gruppierung der Organellen auf morphologisch-genetischer Grundlage durchführbar. In der folgenden Besprechung der verschiedenen plasmatischen Organellen der Protozoen ist deshalb eine physiologische Einteilung befolgt worden.

I. Stütz- und Schutzorganellen.

Bildungen, die als formgebende oder formbestimmende Stützen für den Körper und als Schutzvorrichtungen gegen äußere Einflüsse dienen, sind bei den Protozoen in mannigfachster Form ausgebildet. In den meisten Fällen lassen sich hierbei die stützende und schützende Funktion ebensowenig von einander trennen, wie dies bei den Skelettbildungen der höheren Tiere (z. B. Echinodermen, Arthropoden,

Rumpfskelett der Wirbeltiere) der Fall ist. Eine Ausnahme hiervon bilden die elastischen Fibrillen, die offenbar nur stützende, und die Nematocysten von *Campanella*, die wohl nur schützende Bedeutung haben.

Die in Rede stehenden Organellen sind einander durchaus ungleichwertig, was sich vor allem darin äußert, daß sie zum Teil oberflächlich, zum Teil im Innern des Körpers liegen und wieder in beiden Fällen ein Teil (Ektoplasma, elastische Fibrillen) euplasmatischer, ein anderer (Hüllen, Gehäuse, Schalen, Skelettbildungen) alloplasmatischer Natur ist. Als alloplasmatische Schutz- (und zum Teil auch Stütz-) Organellen sind wohl auch die Trichiten (wenigstens zum Teil), Trichocysten und echten Nematocysten aufzufassen.

1. Ektoplasma, Periplast, Pellicula.

Bei den meisten Protozoen finden wir die oberflächlichste Protoplasmaschicht anders strukturiert wie die von ihr umschlossene Hauptmasse des Plasmas.

Die einfachsten Verhältnisse bieten die Amöbinen, bei denen die äußerste als Ektoplasma bezeichnete Plasmaschicht sich durch hyaline Struktur und größere Widerstandsfähigkeit von dem körnigen, dünnflüssigeren Innenplasma (Endoplasma) unterscheidet. Näheres hierüber und über die bei verschiedenen Amöben verschiedenartige Ausbildung des Ektoplasmas ist bereits auf S. 45f. mitgeteilt worden und aus dem dort Gesagten folgt ohne weiteres, daß wir das Ektoplasma als eine freilich sehr unvollkommene Stütz- und Schutzeinrichtung zu betrachten haben.

Bei den beschalteten Amöbinen (*Diffugia*, *Arcella* u. a.) bietet das Ektoplasma ganz analoge Verhältnisse dar, wie bei den nackten Amöben, findet sich aber deutlich entwickelt nur an den aus der Schale hervortretenden, direkt an das umgebende Medium grenzenden Teilen, vor allem also den nur oder fast nur aus Ektoplasma gebildeten Pseudopodien.

Den Foraminiferen und Radiolarien fehlt die Differenzierung eines Ektoplasmas. Daß überhaupt die anderen osmotischen Verhältnisse im Meere auf die Ausbildung des Ektoplasmas von Einfluß sind, beweist die Rückbildung des Ektoplasmas bei Süßwasseramöben, die an das Leben im Meerwasser gewöhnt werden (vgl. S. 45).

Sehr eigenartig sind die Verhältnisse bei den Heliozoen (vgl. Fig. 42). Hier ist meist das die zentrale Markmasse bildende Plasma hyalin, ohne Vakuolen und andere Einschlüsse oder doch ärmer an Vakuolen, wie die sehr stark entwickelte Rindenschicht, die bei manchen Formen so stark von Vakuolen durchsetzt ist, daß sie ein fast schaumiges Aussehen gewinnt (nicht zu verwechseln mit der wabig-schaumigen Mikrostruktur des Protoplasmas!). Die Nahrung dringt (mit einziger Ausnahme von *Actinosphaerium*) nur in die Rindenschicht, nicht in die Markmasse ein. Da bei allen Protozoen mit typischem Ektoplasma dieses nur eine vergleichsweise dünne Hüllschicht von dichter Struktur bildet und die Verdauung der aufgenommenen Nahrung ausschließlich im Endoplasma erfolgt, sind Rinden- und Markplasma der Heliozoen dem Ekto- und Endoplasma anderer Protozoen nicht vergleichbar, wohl aber dem extra- und intrakapsulären Plasma der Radiolarien (vgl. S. 74f.), deren schärfere Scheidung durch die zwischen ihnen ein-

geschaltete Kapselmembran als eine Weiterentwicklung der bei den Heliozoen angebahnten Differenzierung aufgefaßt werden kann.

Unter den Flagellaten haben die niedersten, amöboid beweglichen Formen (Rhizomastiginen, viele Protomastiginen) ein nur wenig differenziertes Ektoplasma, das durchaus dem der Amöben entspricht (Fig. 2). Jemehr aber die amöboide Beweglichkeit der metabolischen Platz macht und je geringer dann weiter auch die Fähigkeit zur Metabolie wird (vgl. den Abschnitt über die Bewegungsorganellen), um so derber wird die oberflächliche Plasmaschicht, die hier meist als Periplast bezeichnet wird und die die relative Formbeständigkeit der höher organisierten Flagellaten bedingt.

Die größte Festigkeit erreicht der alle etwa auftretenden Formveränderungen des Körpers mitmachende Periplast bei den Euglenoiden, bei denen er in Form einer deutlichen Membran (Pellicula) ausgebildet ist und meist eine zarte, spiralig streifige Oberflächenskulptur erkennen läßt; unter ihm kann dann auch noch eine besonders differenzierte, hellere Plasmaschicht liegen, die gleich ihm selbst dem Ektoplasma zuzurechnen ist (Dinema). Bei den Chloromonaden liegt ebenfalls unter einer verhältnismäßig festen, aber äußerst dünnen Hautschicht, die wohl als Periplast bzw. Pellicula anzusprechen ist, noch eine besonders differenzierte Plasmaschicht in Form der sogenannten Alveolarschicht, die an die Verhältnisse bei den Infusorien erinnert.

Auch bei den Cystoflagellaten und den nackten Dinoflagellaten findet sich eine dem Periplast der echten Flagellaten entsprechende verhältnismäßig feste, die Konstanz der Körperform bedingende Hautschicht. Die Cellulosemembranen der anderen Dinoflagellaten gehören dagegen zu den weiter unten zu besprechenden alloplasmatischen Hüllbildungen.

Färberisch verhält sich der Periplast der Flagellaten anders wie das Endoplasma. Am auffälligsten tritt dies bei der Färbung nach GIEMSA hervor, die den Periplast rosa, das Endoplasma dagegen blau färbt.

Wo sich bei Flagellaten eine undulierende Membran findet (vgl. den Abschnitt über Bewegungsorganellen), wird deren Plasma meist ausschließlich vom Periplast ohne Beteiligung von Endoplasma gebildet.

Die größere Festigkeit des Periplastes im Vergleich zum Endoplasma zeigt sich am auffälligsten, wenn Flagellaten (z. B. größere Trypanosomenarten oder Euglenen) unter dem Deckglas zerdrückt werden. Dann fließt das Endoplasma durch einen Riß in dem als leere Haut übrig bleibenden Periplaste aus.

Genauer untersucht ist die Struktur des Periplastes von *Euglena ehrenbergi* durch HAMBURGER (1911). Er scheint hier von einer einfachen Alveolarschicht gebildet zu werden. Cellulose ließ sich in ihm nicht nachweisen, doch zeigte er die merkwürdige Eigenschaft, in konzentrierter Schwefelsäure unlöslich zu sein und durch Vorbehandlung mit solcher auch seine Löslichkeit in Pankreatin und in mit Salzsäure versetztem Pepsin zu verlieren. Seine feine Längsstreifung beruht auf dem Gehalt an zahlreichen feinen, in Pankreatin und Pepsin unlöslichen elastischen Fibrillen (vgl. den unten folgenden Abschnitt über diese und Fig. 210).

Sehr eigenartig verhält sich nach SCHAUDINN der Periplast von *Leucocytozoon*. Während bei den amöboid beweglichen Flagellaten das Ektoplasma offenbar eine ebensowenig dauerhafte Bildung darstellt wie bei den Amöben, sondern wie dort aus an die Oberfläche tretendem Endoplasma hervorgeht, um später wieder ins Innere des Körpers zu gelangen und dort sich in Endoplasma zurückzuverwandeln, ist der derbere Periplast der formbeständigen Flagellaten, soweit wir wissen, ganz ebenso wie die Pellicula der Infusorien und Gregarinen eine dauernde Bildung. Nur *Leucocytozoon* scheint hiervon eine Ausnahme zu machen, indem bei ihm der Periplast periodisch abgeworfen und wieder neu gebildet wird.

Leucocytozoon ziemanni ist ein Parasit des Steinkauzes (*Athene noctua*) und findet sich in dessen Blute in Form charakteristischer spindelförmiger Elemente, die wesentlich größer sind wie die Blutkörperchen des Vogels. Im Inneren des spindelförmigen Gebildes findet sich der länglich ovale lebende Plasmakörper des Parasiten neben dem mehr oder weniger stark deformierten, hantelförmigen Kern einer Nährzelle (zweifelloos eines Blutkörperchens, Fig. 151). Die Beziehungen des Parasiten zu dem Blutkörperchen sind verschieden beurteilt worden. Während man früher allgemein annahm, daß der spindelförmige Körper ein pathologisch verändertes Blutkörperchen sei — die einen dachten hierbei an Leukocyten, die anderen an Erythrocyten — in dessen Innerem der Parasit schmarotze, gelangte SCHAUDINN, dessen Arbeiten über die Lebens-

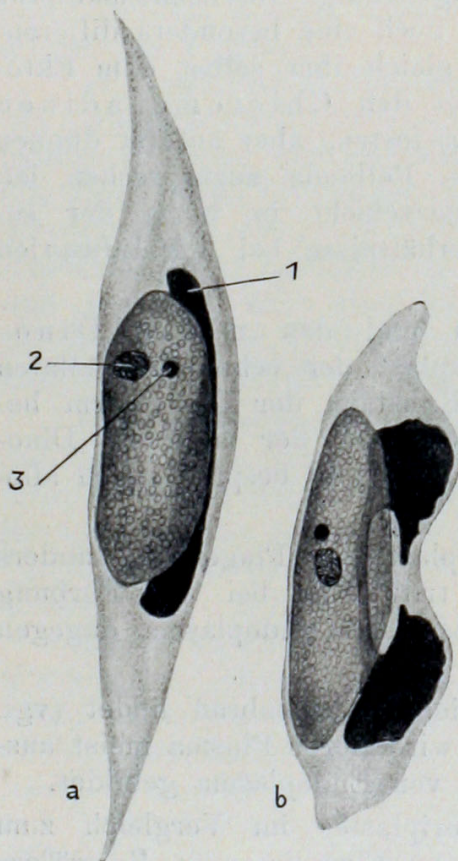


Fig. 151. *Leucocytozoon ziemanni* (LAV.). Makrogametocyten. 1 Kern des Blutkörperchens (in *b* sehr stark hantelförmig zerschnürt), 2 Kern des Parasiten, 3 Blepharoplast. *a* Typische Spindelform mit gelockertem Periplast. Vergr. ca. 1590 : 1. *b* Ein gedrungeneres Exemplar mit noch nicht abgehobenem Periplast. Vergr. ca. 1650 : 1. Nach LÜHE 1906.

geschichte der Protozoen ja technisch und methodisch mustergültig sind und eine neue Epoche der Protozoenforschung eingeleitet haben, zu einer gerade entgegengesetzten Auffassung. Nach ihm ist *Leucocytozoon ziemanni* im frei beweglichen Zustande, in dem es aber nur in inneren Organen (in der Milz, vielleicht auch im Knochenmark) gefunden wird, trypanosomenähnlich (Fig. 152). Es nährt sich von den noch hämoglobinfreien Erythroblasten, an denen es sich zunächst mit seinem geißelfreien Ende fixiert (Fig. 152*b*) und die es dann völlig in sein Inneres hineinzieht. Das Plasma des Blutkörperchens wird verdaut, der Kern zwischen dem Endoplasma und Periplast abgelagert. Während dieser Verdauungsperiode bildet der Parasit seinen Geißelapparat völlig zurück bis auf den neben den Hauptkern rückenden Blepharoplasten (Fig. 152, *c*);

sein Periplast aber wird zu einer stärkeren Schutzhülle umgewandelt, in der die bewegungslose Ruheform ungefährdet in der Blutbahn treiben kann, eben jener spindelförmigen Hülle, welche man früher für eine

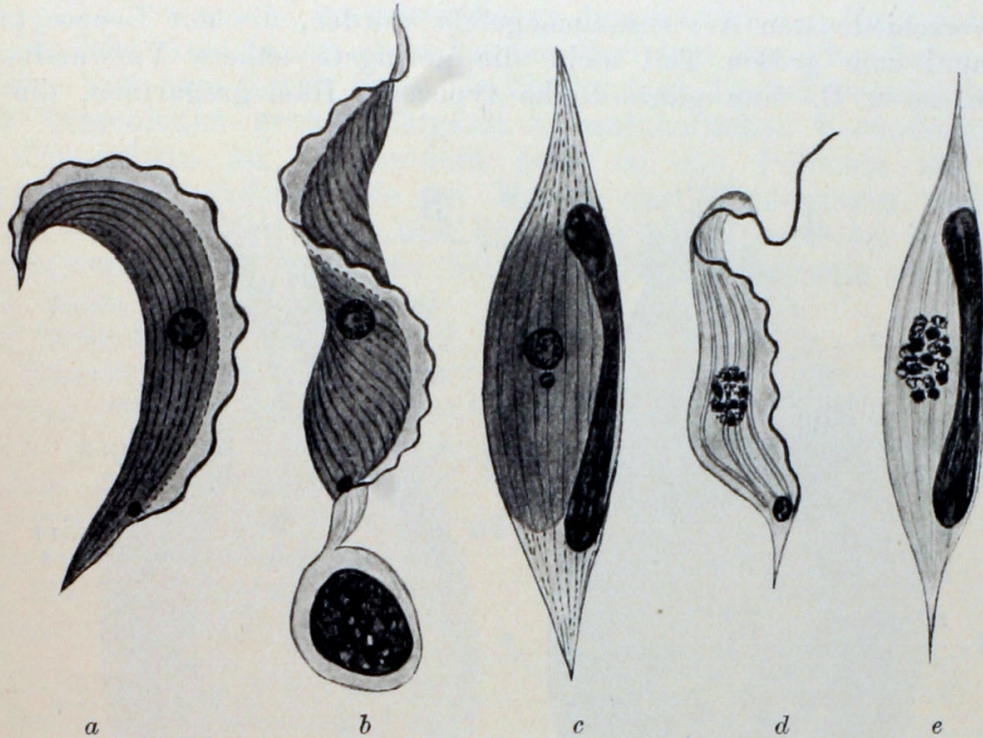
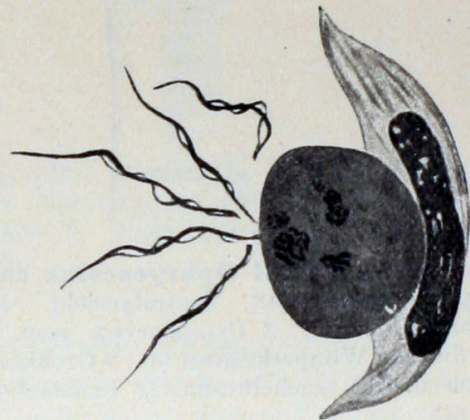


Fig. 152. **Leucocytozoon ziemanni** (LAV.). *a—c* Makrogametocyten, *d—e* Mikrogametocyten mit den bereits vorgebildeten Kernen der 8 Mikrogameten; *a* und *d* trypanosomenähnliche Schwärmstadien, *b* ein Makrogametocyt im Begriff, ein rotes Blutkörperchen aufzunehmen, *c* und *e* Ruhestadien nach Aufnahme des Blutkörperchens. Nach SCHAUDINN 1904.

deformierte Wirtszelle hielt. Später aber wird diese Periplasthülle wieder abgeworfen, während der Parasit selbst unter Neubildung seines Geißelapparates wieder beweglich und trypanosomenförmig wird. Derselbe macht also bei jedesmaligem Uebergang vom Ruhe- zum Schwärmstadium eine förmliche Häutung durch. In ähnlicher Weise wird die Periplasthülle abgeworfen bei der Reifung der Gametocyten (vgl. Fig. 153, in der der reife Makrogamet aus der Periplasthülle ausgetreten ist).

Fig. 153. **Befruchtung des Makrogameten von Leucocytozoon ziemanni** durch einen der ihn umschwärmenden Mikrogameten. Rechts der zugrunde gehende Periplast des Makrogametocyten mit dem Rest des aufgenommenen Blutkörperchens. Nach SCHAUDINN.



Die hier wiedergegebenen Angaben SCHAUDINNS sind zwar vielfach angefochten worden, aber nicht widerlegt. Alle Versuche, sie zu widerlegen, wenden entweder eine ganz andere, keine direkten Vergleiche zulassende Methodik an (Novys künstliche Züchtung der Trypanosomen außerhalb der Blutbahn, bei der wegen des Fehlens normaler Erythroblasten die charakteristischen Ruheformen gar nicht erwartet werden

können) oder sie stützen sich auf die Untersuchung ganz anderer Arten von „Leucocytozoen“ und sind deshalb nicht beweiskräftig für die von SCHAUDINN untersuchte Art (hierher z. B. SAMBON). Unter dem Namen Leucocytozoon sind nämlich leider nachträglich zahlreiche Blutparasiten der verschiedensten Art zusammengefaßt worden, die mit Leucocytozoon ziemanni zum großen Teil nicht die geringste nähere Verwandtschaft haben, so z. B. eine ganze Reihe typischer Hämogregarinen, die sich

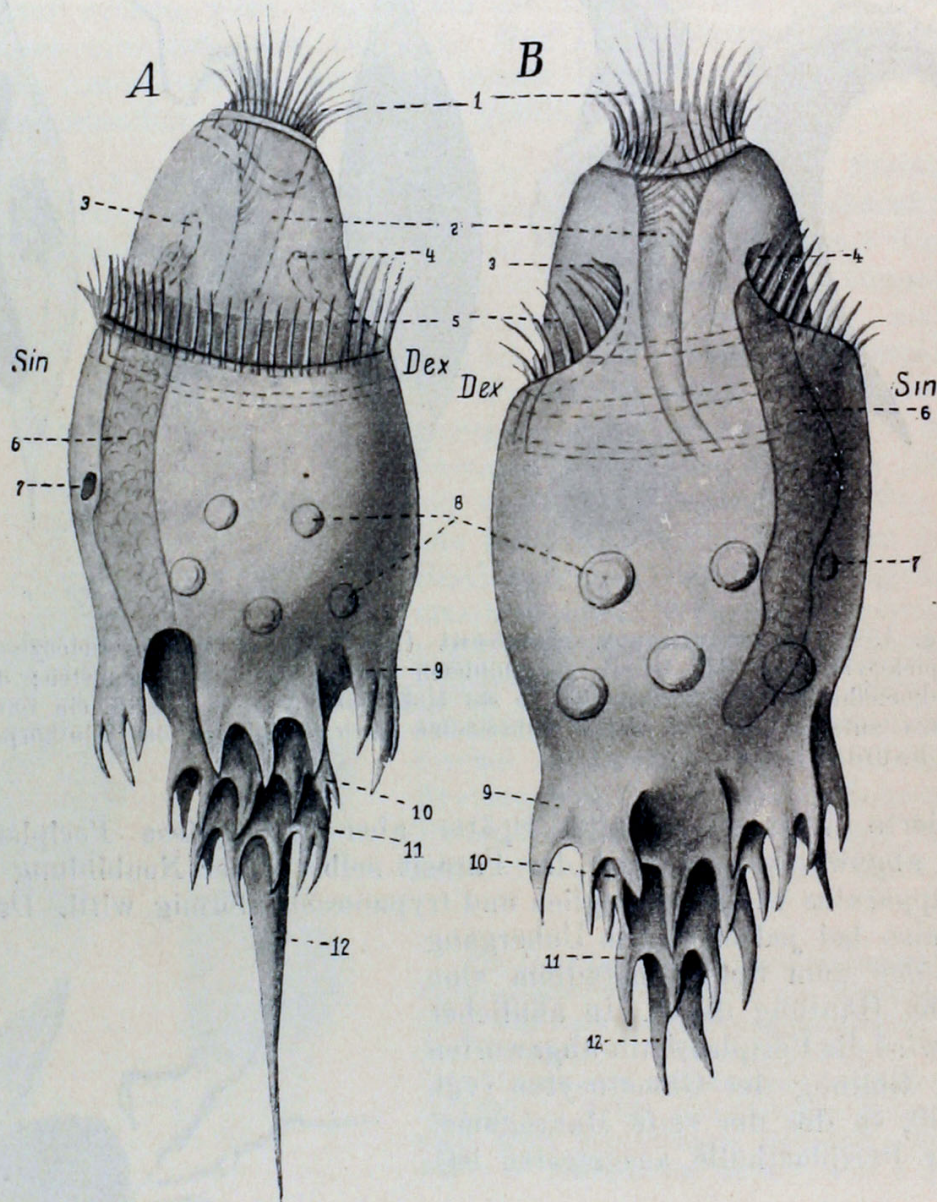


Fig. 154. **A** *Ophryoscolex caudatus* EBERL., Dorsalansicht. **B** *Ophryoscolex purkynjei* STEIN, Ventralansicht. *Dex* rechte, *Sin* linke Körperseite. 1 adorale Membranellenzzone, 2 Cytopharynx resp. Peristomeinsenkung, 3, 4 die beiden Enden des hinteren Wimperkranzes (5), 6 Großkern, 7 Kleinkern, 8 pulsierende Vakuole, 9—11 erster bis dritter Stachelkranz, 12 Endstachel. Vergr. 500:1. Nach EBERLEIN 1895.

von den Hämogregarinen der Kaltblüter im wesentlichen nur dadurch unterscheiden, daß sie in weißen Blutkörperchen von Säugetieren oder Vögeln schmarotzen. Eine ausreichende Nachuntersuchung des Leucocytozoon ziemanni selbst ist nicht durchgeführt worden¹⁾.

1) Zusatz bei der Korrektur: Neuerdings betrachtet REICHENOW (1912) auch Leucocytozoon ziemanni als eine intrazellulär schmarotzende Hämogregarine. Er stützt

Bei den Infusorien, speziell den Ciliaten, erreicht die Differenzierung des Ektoplasmas noch wesentlich höhere Grade, indem in ihm vielfach nicht weniger wie drei verschiedene Schichten unterscheidbar sind, deren äußerste, membranartig erscheinend und deshalb als Pellicula bezeichnet, im wesentlichen dem nur bei den Euglenoideen eine ähnliche Ausbildung erreichenden Periplast der Flagellaten entspricht. Von dem Grade ihrer Derbheit hängt die bei verschiedenen Arten verschieden große Fähigkeit zu metabolischen Veränderungen der Körperform ab. Besonders derb ist die Pellicula bei den Ophryoscoleciden, die im Magen der Wiederkäuer und im Coecum der Einhufer leben und dort wohl eines besonders kräftigen Oberflächenschutzes bedürfen; bei ihnen ist die Pellicula auch noch durch einen Gehalt an Kieselsäure besonders verfestigt und ihre Starrheit ermöglicht das Auftreten sehr bizarrer Körperformen (Fig. 154), ähnlich wie bei dem zu den Euglenoideen gehörenden *Tropidoscyphus* die Derbheit des Periplastes die Bildung kräftiger Längsrippen ermöglicht (Fig. 227).

Wohl nie ist die Pellicula auf der ganzen Oberfläche der Ciliaten von durchweg gleichmäßiger Dicke und sehr vielfach wird durch charakteristisch angeordnete lokale Verdickungen der Pellicula in Form feiner Leisten oder Höcker eine für die verschiedenen Arten charakteristische komplizierte feine Strukturierung der Oberfläche bedingt (vgl. Fig. 110 u. 241 c). In einzelnen Fällen finden sich auch lokale Pelliculaverstärkungen größeren Umfanges, die eine Art Panzerung des Körpers bilden: Bei *Vorticella monilata* (Fig. 155) erhebt sich die Pellicula zu zahlreichen, verschieden großen und verschieden dichtstehenden halbkugeligen Warzen. Einen vollkommenen Panzer dagegen besitzt *Coleps* mit 14 Längsreihen von je vier länglichen plattenförmigen Verdickungen der Pellicula, die voneinander getrennt werden durch furchenartige Einsenkungen mit dünnerem, eine beschränkte Beweglichkeit der einzelnen Platten gegeneinander bedingendem Pellicularüberzuge (Fig. 295 C und 327).

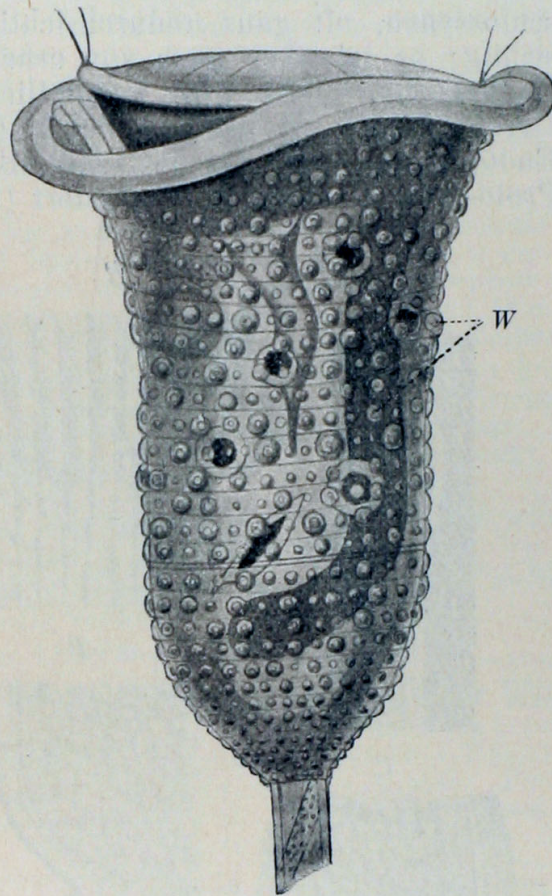


Fig. 155. *Vorticella monilata* mit warzigen Verdickungen (W) der Pellicula. Vergr. 800:1. Nach SCHRÖDER 1906 aus DOFLEIN.

sich hierbei unter anderem darauf, daß das von SCHAUDINN und mir als Blepharoplast angesprochene Chromatinkorn nur in Trockenpräparaten neben dem Kern, bei guter feuchter Fixierung dagegen stets in diesem liege. Andererseits hat PROWAZEK (1912) noch kürzlich wieder SCHAUDINNS Auffassung zu stützen gesucht.

Im übrigen sei hinsichtlich der Differenzierungen des Ektoplasmas der Ciliaten auf die Besprechung von *Paramecium* auf S. 91—93 verwiesen. Die ebenfalls dem Ektoplasma angehörenden Myoneme sind in dem Abschnitt über die Bewegungsorganellen zu besprechen.

Bei den Gregarinen finden sich ähnlich weitgehende Differenzierungen des Ektoplasmas. Auch hier ist die oberflächlichste Schicht des Ektoplasmas zu einer verhältnismäßig derben membranartigen Pellicula (auch Epicyt oder, weniger gut, Cuticula genannt) differenziert, die gegen das unter ihr gelegene Sarkocyt scharf abgesetzt ist. Das Sarkocyt, das der Alveolar- und Corticalschicht der Infusorien entspricht, ist verhältnismäßig frei von körnigen Einschlüssen und erscheint daher im Gegensatz zu dem von ihm umschlossenen, oft ganz undurchsichtigen Endoplasma klar und durchsichtig; es ist aber auch von erheblich festerer Konsistenz wie das Endoplasma. Dies wird namentlich bei den Tricystideen deutlich. Deren Körper ist nämlich durch eine von Sarkocyt gebildete, das Endoplasma quer durchsetzende Scheidewand in zwei Abschnitte, Proto- und Deutomerit, gegliedert (Fig. 52 u. 156, A, D). Wird einer

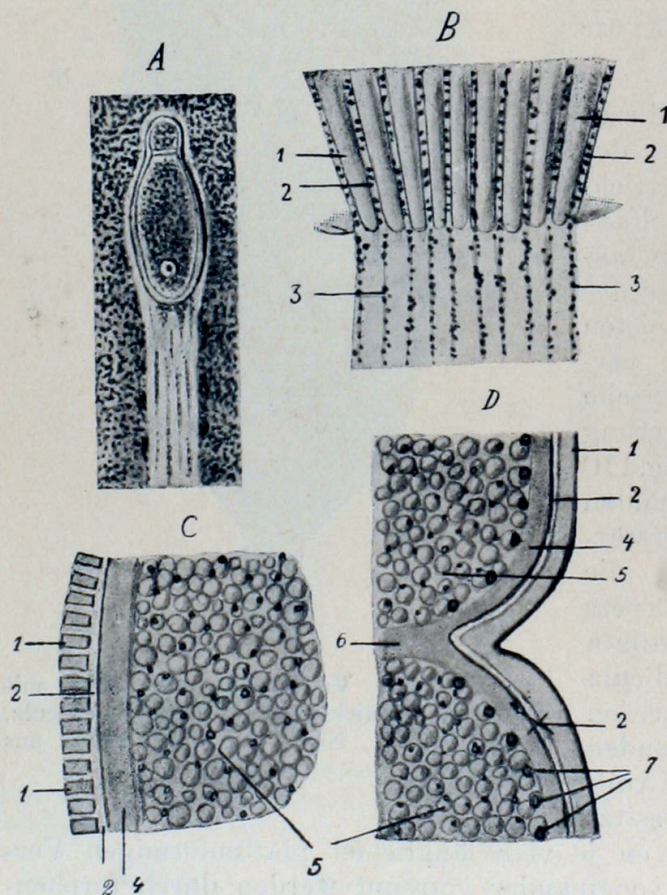


Fig. 156. **Gregarina munieri** SCHNEID. **A** In Bewegung begriffene Gregarine, welche in fein zerriebener Tusche eine Gallertspur hinterläßt. Vergr. 100 : 1. **B** Hinteres Körperende der Gregarine. 1 vorspringende Rippenstreifen der Pellicula, 2 zwischen diesen gelegene Längsfurchen, in denen Gallertfäden mit anhaftenden Tuschekörnchen nach hinten strömen, 3 die am Körperende frei ausgetretenen Gallertfäden, die sich zu der stielartigen Gallertspur von Fig. A zusammenlegen. Vergr. 3000 : 1. **C** Teil eines Querschnittes und **D** eines Längsschnittes. 1 Pellicula (von in Längsreihen stehenden Poren durchsetzt), 2 Gallertschicht, durch die Poren der Pellicula mit der Umwelt in offener Verbindung, 4 Sarkocyt, 5 Endoplasma, 6 vom Sarkocyt gelieferte Scheidewand zwischen Proto- und Deutomerit, 7 Myoneme (auf dem Längsschnitt quer getroffen). Vergr. 2000 : 1. Nach SCHEWIAKOFF 1894.

dieser beiden Abschnitte verletzt, so fließt das relativ dünnflüssige Endoplasma nur aus dem verletzten aus, während das Endoplasma des unverletzten Abschnittes durch die zwischen beiden ausgespannte Sarkocytscheidewand zurückgehalten wird. Die Dicke von Epicyt und Sarkocyt ist, auch von den später zu besprechenden Haftorganellen abgesehen, nicht überall die gleiche. In der Regel ist das Epicyt am Vorderende der Gregarine am mächtigsten ausgebildet

Seit Januar 1913 erscheint:

Handbuch der Entomologie.

Bearbeitet von Dr. C. Börner (St. Julien bei Metz), Prof. Dr. P. Deegener (Berlin), Prof. Dr. K. Eckstein (Eberswalde), Dr. J. Gross (Neapel), Dr. A. Handlirsch (Wien), Prof. Dr. O. Heineck (Alzey), Dr. K. Holdhaus (Wien), Dr. O. Prochnow (Berlin-Gr. Lichterfelde), Dr. L. Reh (Hamburg), Ew. Rübsaamen (Berlin), Prof. Dr. Chr. Schröder (Berlin-Schöneberg). Herausgegeben von Prof. Dr. Chr. Schröder, Berlin-Schöneberg.

Es liegen vor:

Lieferung 1 bis 3, enthaltend: Band I, Bogen 1 bis 30.

Das „Handbuch der Entomologie“ darf als ein Fundament für das Studium der Insekten angesprochen werden. Seit Kolbes „Einführung in die Kenntnis der Insekten“ gibt es kein deutschsprachiges Handbuch der Entomologie. Auch gibt es in der außerdeutschen Literatur kein Werk, das so reichhaltig wie dieses das Gebiet behandelt und die neuesten Ergebnisse der in letzter Zeit erheblich fortgeschrittenen Forschung erörtert. Dies wird erreicht durch die Heranziehung einer Anzahl der hervorragendsten Fachleute, die ihr Wissen und ihre Arbeitskraft in den Dienst dieses Werkes gestellt haben.

Das „Handbuch der Entomologie“ will eine erschöpfende, quellenartige Uebersicht über das gesamte Wissensgebiet der Entomologie geben, der vorliegenden Disposition nach einstweilen in Beschränkung der Bearbeitung einer Geschichte der Entomologie, der Sammel- und Musealtechnik u. ä., der Psychologie wie der deszendenztheoretischen Fragen.

Band I bringt die Bearbeitung der Anatomie, Histologie und Morphologie der Larven und Imagines, der Oo- und Spermatogenese wie Embryogenie, der allgemeine Morphologie, der Erscheinungen der Parthenogenesis, Dimorphose . . . , Metamorphose. Autoren sind die Herren Dr. C. Börner (St. Julien-Metz), Prof. Dr. P. Deegener (Berlin), Dr. J. Gross (Neapel), Dr. O. Prochnow (Gr. Lichterfelde-Berlin).

Band II enthält die Bionomie (einschl. der ökonomischen Entomologie), Blütenbiologie, Psychologie, Zoogeographie, Deszendenztheorie (einschl. der experimentellen Entomologie). Autoren sind die Herren Prof. Dr. K. Eckstein (Eberswalde), Prof. Dr. O. Heineck (Alzey), Dr. K. Holdhaus (Wien), Dr. L. Reh (Hamburg), Ew. H. Rübsaamen (Berlin), der Herausgeber.

Bd. III gehört der Bearbeitung der Paläontologie und Phylogenie wie der systematischen Uebersicht. Autor ist Herr A. Handlirsch (Wien).

Das Handbuch erscheint in etwa 14 Lieferungen im Umfang von je 10 Druckbogen und wird in 3 Bänden vollständig werden.

Preis jeder Lieferung 5 Mark.

Lehrbuch der vergleichenden mikroskopischen Anatomie der Wirbeltiere.

In Verbindung mit Prof. Dr. Amann-München, Prof. Ballowitz-Münster i. W., Prof. Dr. Disselhorst-Halle a. S., Prof. Dr. v. Eggeling-Jena, Dr. V. Franz-Frankfurt a. M., Prof. Dr. Hoyer-Krakau, Prof. Dr. R. Krause-Berlin, Prof. Dr. Boll-Berlin, Prof. Dr. Reinke-Rostock, Dr. P. Röthig-Charlottenburg, Prof. Dr. Schaffer-Graz, Dr. Studnička-Brünn, Prof. Dr. Szymonowicz-Lemberg, Prof. Dr. Tandler-Wien, Prof. Dr. Ziehen-Wiesbaden, Prof. Dr. Zimmermann-Bern. Herausgegeben von Prof. Dr. med. Albert Oppel in Halle a. S.

Bis Mai 1913 ist erschienen:

Erster Teil: **Der Magen.** Von Prof. Dr. A. Oppel. Mit 275 Abbildungen im Text und 5 lithogr. Tafeln. 1896. Preis: 14 Mark.

Zweiter Teil: **Schlund und Darm.** Von Prof. Dr. A. Oppel. Mit 443 Abbildungen im Text und 4 lithogr. Tafeln. 1897. Preis: 20 Mark.

Dritter Teil: **Mundhöhle, Bauchspeicheldrüse und Leber.** Von Prof. Dr. A. Oppel. Mit 679 Abbildungen im Text und 10 lithogr. Tafeln. 1900. Preis: 36 Mark.

Vierter Teil: **Ausführapparat und Anhangdrüsen der männlichen Geschlechtsorgane.** Von Dr. Rudolf Disselhorst, Prof. der Universität Halle a. S. Mit 435 Abbildungen im Text und 7 lithogr. Tafeln. 1904. Preis: 20 Mark.

Fünfter Teil: **Die Parietalorgane.** Von Dr. F. K. Studnička, Brünn. Mit 134 Abbildungen im Text und 1 lithogr. Tafel. 1905. Preis: 8 Mark.

Sechster Teil: **Atmungsapparat.** Von Prof. Dr. A. Oppel. Mit 364 Abbildungen im Text und 4 lithogr. Tafeln. 1905. Preis: 24 Mark.

Siebenter Teil: **Sehorgan.** Von Dr. phil. V. Franz, Frankfurt a. M. Mit 431 Abbildungen im Text. 1913. Preis: 18 Mark.

Seit Januar 1912 erscheint:

HANDWÖRTERBUCH DER NATUR- WISSENSCHAFTEN

Herausgegeben von

Prof. Dr. E. Korschelt-Marburg (Zoologie), Prof. Dr. G. Linck-Jena (Mineralogie und Geologie), Prof. Dr. F. Oltmanns-Freiburg (Botanik), Prof. Dr. K. Schaum-Leipzig (Chemie), Prof. Dr. H. Th. Simon-Göttingen (Physik), Prof. Dr. M. Verworn-Bonn (Physiologie) und Dr. E. Teichmann-Frankfurt a. M. (Hauptredaktion).

Vollständig liegen vor:

- Band I: „Abbau—Black“.** Mit 631 Abbild. im Text. (IX und 1163 Seiten. Lex.-Format.) 1912. Preis 20 Mark, in Halbfranz geb. 23 Mark.
- Band II: „Blatt—Ehrenberg“.** Mit 1101 Abbild. im Text. (VIII und 1212 Seiten. Lex.-Form.) 1912. Preis: 20 Mark, in Halbfranz geb. 23 Mark.
- Band III: „Ei—Fluoreszenz“.** Mit 921 Abbild. im Text. (VIII und 1236 Seiten. Lex.-Form.) 1913. Preis: 20 Mark, in Halbfranz geb. 23 Mark.
- Band VI: „Lacaze-Duthiers—Myriapoda“.** Mit 1048 Abbildungen im Text. (VIII und 1151 Seiten. Lex.-Form.) 1912. Preis: 20 Mark, in Halbfranz geb. 23 Mark.
- Band VII: „Nagelfluhe—Pyridingruppe“.** Mit 744 Abbildungen im Text. (VII und 1172 Seiten. Lex.-Form.) 1912. Preis: 20 Mark, in Halbfranz geb. 23 Mark.

Im Laufe des Jahres 1913 erscheinen noch drei Bände und bereits in der ersten Hälfte des Jahres 1914 wird das ganze Werk fertig vorliegen.

Die Lieferungsausgabe ist erschienen bis Lieferung 40.

Das ganze Werk wird etwa 80 Lieferungen zum Preise von je 2 Mark 50 Pf. umfassen bzw. in 10 Bänden vollständig werden. Der Gesamtpreis ist mit etwa 200 Mark, gebunden etwa 230 Mark angesetzt.

Die Namen der Herausgeber bürgen für die vorzügliche Durchführung des großen Werkes.

Die erste Lieferung kann von jeder Buchhandlung zur Ansicht vorgelegt werden; ein Probeheft (mit 32 Seiten Text) wird kostenfrei geliefert.

Deutsche medizinische Wochenschrift:

Also schon äußerlich betrachtet ein monumentales Werk, wie es deren wenige gibt. Durch die ganze Art der Anlage und der Durchführung des Planes wird das Werk auch seinem Inhalte nach einzig dastehen. Es handelt sich um nicht weniger als um eine enzyklopädische Darstellung des gesamten naturwissenschaftlichen Erkenntnisschatzes in einer Form, daß alle Kreise, die für Naturwissenschaften Interesse haben, Nutzen daraus ziehen können. Bei einem so verschiedenartigen Leserkreise ist es natürlich nicht leicht, die richtige Grenze hinsichtlich Umfang und Art der Darstellung zu finden. Aus den vorliegenden Lieferungen geht aber zur Genüge hervor, daß diese schwierige Aufgabe fast durchweg glänzend gelöst ist. Der Stoff ist in der Weise gruppiert, daß unter einem Hauptstichwort eine monographische Darstellung aller zusammengehörigen Dinge gegeben wird (statt „Handwörterbuch“ wäre daher die Bezeichnung „Enzyklopädie“ richtiger). Durch eine jedem Artikel vorangeschickte numerierte Inhaltsangabe wird die Uebersichtlichkeit sehr erhöht. Kurze, gut gewählte Literaturangaben erleichtern ein weiteres Eindringen in die Materie. Von namhaften Gelehrten bearbeitet, die meist selbstforschend auf dem betreffenden Gebiete tätig sind, geben die einzelnen Artikel eine genügend ausführliche, zuverlässige und bequeme Uebersicht über den gegenwärtigen Stand der Erkenntnis und sind bei aller Wissenschaftlichkeit doch so verständlich gehalten, daß auch Nichtspezialisten daraus Nutzen ziehen können. Von der Reichhaltigkeit und Gediegenheit des Inhalts kann natürlich nur die direkte Anschauung überzeugen. (Probehefte sind in jeder Buchhandlung erhältlich.) Um aber einen ungefähren Begriff zu geben, sei nur erwähnt, daß z. B. der Artikel „Abbildungslehre“ 30, „Algen“ 54, „Atmung“ 55 Seiten umfaßt. Die Ausstattung ist glänzend; insbesondere seien die zahlreichen, instruktiven Abbildungen hervorgehoben (im ersten Bande allein 631!) Sehr schätzenswert sind auch die biographischen Notizen über die bedeutendsten Forscher, die bei aller Kürze doch einen genügenden Ueberblick über Leben und Wirken derselben geben. . . . Alles in allem handelt es sich um ein außergewöhnliches Werk, das, wie mit Recht im Prospekt gesagt wird, in der ganzen gebildeten Welt auf das größte Interesse rechnen darf und für jede größere Bibliothek einfach unentbehrlich ist. Insbesondere kann auch wissenschaftlich arbeitenden Aerzten die Anschaffung auf das wärmste empfohlen werden. Möge die Unsumme von Arbeit, die in dem Werke steckt, und der Wagemut des Verlages, dessen Aufwendungen eine ungewöhnliche Höhe erreichen, auch durch einen vollen materiellen Erfolg belohnt werden.

W. Guttman, Bromberg.

HANDBUCH DER MORPHOLOGIE DER WIRBELLOSEN TIERE

BEARBEITET VON

Dr. CARL BÖRNER, St. Julien bei Metz; Prof. E. BUGNION, Blonay
s. Vevey; Dr. MARIE DAIBER, Zürich; Prof. W. GIESBRECHT, Neapel;
Prof. VALENTIN HAECKER, Halle a. S., Prof. KARL HESCHELER, Zürich;
Prof. ARNOLD LANG, Zürich; Prof. M. LÜHE, Königsberg; Prof. O. MAAS,
München; Dr. S. TSCHULOK, Zürich und Dr. J. WILHELMI, Berlin-Steglitz

HERAUSGEGEBEN VON

ARNOLD LANG
ZÜRICH

ZWEITE BEZW. DRITTE AUFLAGE
VON ARNOLD LANG'S LEHRBUCH DER VERGLEICHENDEN
ANATOMIE DER WIRBELLOSEN TIERE

ERSTER BAND. PROTOZOA

Zweite Lieferung

Mit 166 Abbildungen im Text

Inhalt:

Protozoa (Urtiere). Von Prof. Max Lühe, Königsberg i. Pr.
(S. 161—320; Abbild. 157—322)



JENA
VERLAG VON GUSTAV FISCHER
1913

HANDWÖRTERBUCH DER NATUR- WISSENSCHAFTEN

Herausgegeben von

Prof. Dr. E. Korschelt-Marburg (Zoologie), Prof. Dr. G. Linck-Jena (Mineralogie und Geologie), Prof. Dr. F. Oltmanns-Freiburg (Botanik), Prof. Dr. K. Schaum-Leipzig (Chemie), Prof. Dr. H. Th. Simon-Göttingen (Physik), Prof. Dr. M. Verworn-Bonn (Physiologie) und Dr. E. Teichmann-Frankfurt a. M. (Hauptredaktion).

Soeben erschien:

Band IV: „Fluorgruppe—Gewebe“.

Mit 924 Abbildungen im Text.

(VII, 1284 Seiten. Lex.-Form.) 1913. Preis: 20 Mark, geb. 23 Mark.

Ferner liegen vollständig vor:

Band I: „Abbau—Black“. Mit 631 Abbild. im Text. (IX und 1163 Seiten. Lex.-Format.) 1912. Preis: 20 Mark, in Halbfranz geb. 23 Mark.

Band II: „Blatt—Ehrenberg“. Mit 1101 Abbild. im Text. (VIII und 1212 Seiten. Lex.-Form.) 1912. Preis: 20 Mark, in Halbfranz geb. 23 Mark.

Band III: „Ei—Fluoreszenz“. Mit 921 Abbild. im Text. (VIII und 1236 Seiten. Lex.-Form.) 1913. Preis: 20 Mark, in Halbfranz geb. 23 Mark.

Band VI: „Lacaze-Duthiers—Myriapoda“. Mit 1048 Abbild. im Text. (VIII und 1151 Seiten. Lex.-Form.) 1912. Preis: 20 Mark, in Halbfranz geb. 23 Mark.

Band VII: „Nagelfluhe—Pyridingruppe“. Mit 744 Abbild. im Text. (VII und 1172 Seiten. Lex.-Form.) 1912. Preis: 20 Mark, in Halbfranz geb. 23 Mark.

Im Laufe des Jahres 1913 erscheinen noch zwei Bände und bereits in der ersten Hälfte des Jahres 1914 wird das ganze Werk fertig vorliegen.

Die Lieferungsausgabe ist erschienen bis Lieferung 53.

Das ganze Werk wird etwa 80 Lieferungen zum Preise von je 2 Mark 50 Pf. umfassen bzw. in 10 Bänden vollständig werden. Der Gesamtpreis ist mit etwa 200 Mark, gebunden etwa 230 Mark angesetzt.

Die Namen der Herausgeber bürgen für die vorzügliche Durchführung des großen Werkes.

Die erste Lieferung kann von jeder Buchhandlung zur Ansicht vorgelegt werden; ein Probeheft (mit 32 Seiten Text) wird kostenfrei geliefert.

Deutsche medizinische Wochenschrift:

Also schon äußerlich betrachtet ein monumentales Werk, wie es deren wenige gibt. Durch die ganze Art der Anlage und der Durchführung des Planes wird das Werk auch seinem Inhalte nach einzig dastehen. Es handelt sich um nicht weniger als um eine enzyklopädische Darstellung des gesamten naturwissenschaftlichen Erkenntnisschatzes in einer Form, daß alle Kreise, die für Naturwissenschaften Interesse haben, Nutzen daraus ziehen können. . . . Von namhaften Gelehrten bearbeitet, die meist selbstforschend auf dem betreffenden Gebiete tätig sind, geben die einzelnen Artikel eine genügend ausführliche, zuverlässige und bequeme Uebersicht über den gegenwärtigen Stand der Erkenntnis und sind bei aller Wissenschaftlichkeit doch so verständlich gehalten, daß auch Nichtspezialisten daraus Nutzen ziehen können. Von der Reichhaltigkeit und Gediegenheit des Inhalts kann natürlich nur die direkte Anschauung überzeugen. (Probehefte sind in jeder Buchhandlung erhältlich.) Um aber einen ungefähren Begriff zu geben, sei nur erwähnt, daß z. B. der Artikel „Abbildungslehre“ 30, „Algen“ 54, „Atmung“ 55 Seiten umfaßt. Die Ausstattung ist glänzend; insbesondere seien die zahlreichen, instruktiven Abbildungen hervorgehoben (im ersten Bande allein 631!) Sehr schätzenswert sind auch die biographischen Notizen über die bedeutendsten Forscher, die bei aller Kürze doch einen genügenden Ueberblick über Leben und Wirken derselben geben. . . . Alles in allem handelt es sich um ein außergewöhnliches Werk, das, wie mit Recht im Prospekt gesagt wird, in der ganzen gebildeten Welt auf das größte Interesse rechnen darf und für jede größere Bibliothek einfach unentbehrlich ist.

W. Guttmann, Bromberg.

und am Hinterende am dünnsten, während das Sarkocyt sich gerade umgekehrt verhält. Zwischen beiden findet sich eine Gallertschicht von wechselnder, im Vergleich zu Epi- und Sarkocyt aber stets sehr geringer Mächtigkeit. Die sie bildende Substanz wird von dem Sarkocyt abgeschieden und durch das Epicyt hindurch nach außen entleert, um in dem umgebenden Medium gallertig aufzuquellen. Das Epicyt zeigt bei fast allen Gregarinen eine äußerst feine Längsstreifung; speziell bei *Gregarina munieri* hat SCHEWIAKOFF (1894) nachgewiesen, daß diese Längsstreifung durch Spalten bedingt wird, die das ganze Epicyt durchsetzen und die Gallertsubstanz nach außen abfließen lassen (Fig. 156, B, C).

Bei der gleitenden Vorwärtsbewegung der Gregarinen sammelt sich die abgeschiedene Gallerte hinter der Gregarine zu einem aus zahlreichen einzelnen Fäden zusammentretenden stielartigen Gebilde (Fig. 156, A, B), auf dessen noch zweifelhafte Rolle bei jener Bewegung in dem Abschnitt über die Bewegungsorganellen zurückzukommen sein wird.

Bei einigen Gregarinen (z. B. *Didymophyes gigantea*, *Pyxinia*) anastomosieren die Längsstreifen des Epicyts miteinander, so daß eine netzförmige Zeichnung entsteht, deren Maschen in der Längsrichtung der Gregarine stark gestreckt sind.

Bei stark metabolen Formen (z. B. *Monocystis agilis*) ist, ähnlich den Verhältnissen bei den Flagellaten, die Dicke des Epicyts besonders gering.

2. Alloplasmatische Oberflächenorganellen.

(Cysten, Hüllen, Gehäuse und Schalen.)

Außerordentlich häufig und in den verschiedensten Klassen und Ordnungen finden wir bei Protozoen Schutzvorrichtungen, die mit den vorstehend besprochenen Differenzierungen des Ektoplasmas darin übereinstimmen, daß das Protozoon oberflächlich von einer besonders strukturierten schützenden und formbestimmenden Schicht umgeben ist, die indessen im Gegensatz zu den verschiedenen Ausbildungsformen des Ektoplasmas nicht von besonders differenziertem Plasma gebildet werden, sondern durch Abscheidung lebloser Substanz auf der Oberfläche des Plasmakörpers zutage kommen und von dem Weichkörper unter bestimmten Umständen wieder verlassen werden können. Wir können sie daher als alloplasmatische Oberflächenorganellen bezeichnen. Sie sind außerordentlich verschiedenartig: sie können vorübergehend gebildet und wieder verlassen werden (hierher vor allem alle Cysten) oder sie können zeitlebens ausdauern, um nur bei der Fortpflanzung den Weichkörper oder die von diesem gebildeten Sprößlinge hervortreten zu lassen; sie können gallertig oder pseudochitinös sein oder aus Cellulose, Kalk oder Kieselsäure bestehen: sie sind auch morphologisch außerordentlich mannigfaltig ausgebildet und können hochkomplizierte Formen annehmen.

Im Interesse einer übersichtlichen Besprechung unterscheiden wir die temporären Cystenbildungen von den permanenten Hüllen, Gehäusen und Schalen.

a) Cysten.

Encystierung, d. h. Bildung einer als Cyste bezeichneten Schutzhülle, innerhalb deren der Organismus vorübergehende Zeiten

der Ungunst überdauert oder bestimmte Entwicklungsphasen durchläuft, ist namentlich bei den Protozoen des süßen Wassers und bei parasitischen Protozoen sehr weit verbreitet. Bei marinen Arten tritt diese Schutzvorrichtung infolge der gleichmäßigeren Existenzbedingungen im Meere sehr zurück; sie fehlt daher völlig in den großen Abteilungen der Foraminiferen und Radiolarien¹⁾.

Die Tierchen nehmen bei der Encystierung im allgemeinen kugelige oder ellipsoidische Gestalt an; äußere Fortsätze des Körpers (Pseudopodien, Cilien, Geißeln, Kragen u. a.) verschwinden bzw. werden eingezogen. Ebenso werden die Einrichtungen zur Ein- und Ausfuhr der Nahrung (Cytostom, Cytopharynx, Cytopyge usw.), soweit sie vorhanden waren, rückgebildet; nur die pulsierende Vakuole setzt ihre Fähigkeit nicht selten fort, wenn auch meist nur eine Zeitlang, um schließlich doch auch noch zu verschwinden. Der Plasmakörper scheidet meist alle in ihm etwa enthaltenen Fremdkörper (Nahrungsreste u. dgl.) aus und gibt auch sehr häufig (z. B. bei Amöben, Diffugia, Infusorien) unter starker Kontraktion und entsprechender Verdichtung des Plasmas verhältnismäßig viel Flüssigkeit ab. Hier auf umgibt er sich ringsum mit einer mehr oder weniger widerstandsfähigen, undurchlässigen Schutzhülle, der Cyste. Deren Form ist entsprechend der vorausgegangenen Abrundung des Plasmakörpers meist eine kugelige und die Entstehung der Kugelform kann auch neben oder an Stelle der Abrundung des Körpers durch eine andauernde Rotation des sich encystierenden Tierchens bedingt werden (z. B. bei Infusorien, Gregarinen). Schon ellipsoidische Cystenformen sind im allgemeinen weniger häufig wie die Kugelform, doch kommen mehr vereinzelt auch sogar birnförmige, tönchchenförmige usw. Cystenbildungen vor (z. B. Schleimcysten von *Herpetomonas*, tönchchenförmige „Sporen“ mancher Gregarinen).

Bei den beschalteten Süßwasserrhizopoden (z. B. *Arcella*, *Diffugia*) bildet sich die Cyste meist nach vorgängiger kugeliger Kon-

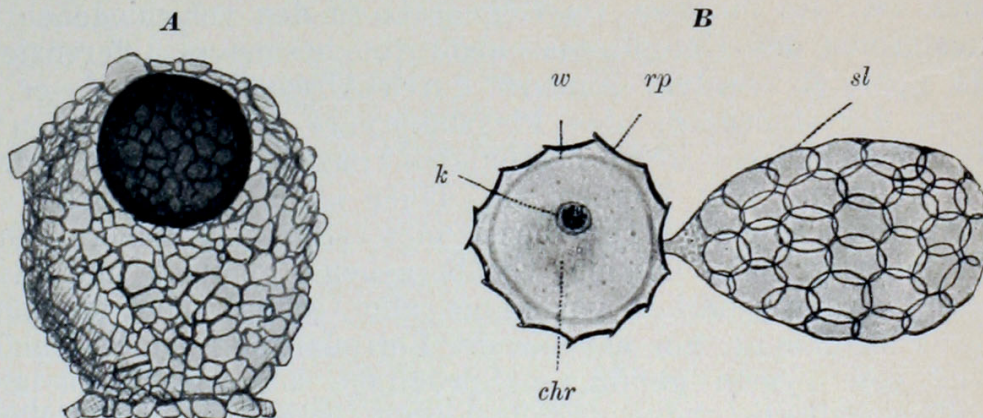


Fig. 157. **Cysten von Rhizopoden.** A *Diffugia urceolata* CARTER. Nach ZÜLZER (1904). B *Sphenoderia lenta* SCHLUMB. Nach AWERINZEW (1907). chr Chromidialsubstanz, k Kern, rp Kieselplättchen der Cystenhülle, sl aus Kieselplättchen bestehende Schale, w innere Hülle der Cyste.

traktion des Weichkörpers im Innern der Schale, von der sie nur einen Bruchteil ausfüllt. Bei *Diffugia* liegt sie im Grunde der Schale

1) Bei der Acanthariefamilie *Astrocapsidae* entspricht jedoch vielleicht die Strontiumsulfatverstärkung der Zentralkapselmembran (vgl. S. 196) einer Vermehrungscyste (Vorbereitung zur Vermehrung durch Schwärmer nach POPOFSKY 1908).

(Fig. 157 A), bei *Arcella* liegt sie dagegen der Schalenmündung von innen an und verschließt diese, so daß dadurch die bei der Vorbereitung zur Encystierung ausgestoßenen Nahrungsreste (Diatomeenschalen u. dgl.) in dem Raum zwischen der alten Schale und der Cyste eingeschlossen sind. Bei anderen Arten (z. B. bei *Nebela*) erfolgt vor der die Encystierung einleitenden Kontraktion des Plasmakörpers ein Verschluß der Schale durch ein zu diesem Zwecke abgeschiedenes Sekret. In einzelnen Fällen tritt aber auch das Protoplasma vor der Encystierung aus der Schale hervor und umgibt sich erst außerhalb derselben mit der Cystenhülle, so freilich, daß die Cyste immer noch mit der Schale verbunden bleibt (z. B. bei *Sphenoderia*, Fig. 157 B).

Die Dicke der Cystenhülle ist sehr verschieden. Sie kann bei gewissen Vermehrungscysten „so dünnwandig sein, daß man Mühe hat sie zu erkennen“ (von RHUMBLER mitunter bei *Colpoda* beobachtet); sie kann aber auch bei *Gregarina* so mächtig entwickelt sein, daß die Wanddicke die Hälfte und mehr von dem Durchmesser des umschlossenen Innenraumes erreicht, und zwischen diesen beiden Extremen kommen alle Uebergänge vor. Sehr häufig bleibt das allmähliche Dickenwachstum an einer konzentrischen Schichtung kenntlich (Fig. 158, D; 161, 2).

Ähnlich verschieden ist auch die Substanz der Cystenhülle. Im Beginn ihrer Bildung ist sie wohl stets gallertiger Natur. Sie gewinnt aber dann meist durch Erhärtung infolge Wasserabgabe größere Festigkeit. Sehr häufig wird im Inneren der zuerst gebildeten gallertigen Hülle noch eine zweite, festere Hülle gebildet, die chitinähnliche Konsistenz besitzt, aber allem Anschein nach eiweißartiger Natur ist, ähnlich den Pseudochitinschalen der Rhizopoden (vgl. S. 181). Diese innere Schicht der Cystenhülle ist meist dünner wie die äußere (Fig. 161). — Eine weitere Steigerung der Widerstandsfähigkeit kann die Cystenwand durch Einlagerungen verschiedener Art erfahren: bei *Diffugia* z. B. ist sie an ihrer Außenfläche mit den vor der Encystierung ausgestoßenen Nahrungsresten des Tieres (Diatomeenschalen, Algenteilen u. dgl.) förmlich inkrustiert; bei kieselschaligen Rhizopoden (z. B. *Euglypha*, *Sphenoderia*, Fig. 157, B) enthält sie Kieseleinlagerungen und auch bei Heliozoen können in die Cystenhülle zahlreiche von dem Tiere gebildete Kieselnadeln eingelagert sein (z. B. bei *Actinosphaerium*, das nur bei dieser Gelegenheit Kieselnadeln bildet). Andererseits kommen bei Flagellaten auch Cystenhüllen aus Cellulose vor.

In der Regel sind die Cystenhüllen allseitig geschlossen, mitunter besitzen sie jedoch auch eine Oeffnung. Bei den ovalen Teilungscysten von *Colpoda* (Fig. 159) kommt eine solche am Hinterende dadurch zustande, daß das Infusor bei der Bildung dieser Cyste immer nur um seine Längsachse rotiert, so daß die am Hinterende gelegene pulsierende Vakuole sich immer an der gleichen Stelle entleert und dadurch an dieser Stelle den Verschluß der Cyste verhindert.

Die physiologisch-biologischen Bedingungen, unter denen die Encystierung erfolgt, können sehr verschiedene sein. Wir können hauptsächlich unterscheiden:

A. Veränderungen der Umgebung.

1) Langsame Verdunstung des Wassers führt bei Süßwasserprotozoen, kurz bevor sie eintrocknen würden, zur Bildung von Cysten (Dauercysten) von besonderer Derbheit und Undurchlässigkeit. In ihnen bleiben die Tierchen lange Zeit, oft jahrelang

(z. B. *Gastrostyla*), lebensfähig und können als Bestandteile des Staubes vom Winde verweht oder sonst passiv von Ort zu Ort geschleppt werden¹⁾. Geraten sie dann wieder ins Wasser, so verlassen die Tierchen unter Neubildung ihrer Organellen die schützende Hülle und treten wieder ins aktive Leben ein. Diese Cysten sind also nicht nur für die Erhaltung der Art während ungünstiger Perioden der Trockenis, sondern auch für ihre Ausbreitung von größter Bedeutung. Auf ihnen beruht die rasche Belebung von Heuaufgüssen u. dgl. ebensowohl wie die ubiquitäre Verbreitung so vieler Süßwasserprotozoen.

Den Dauercysten der Süßwasserprotozoen vergleichbar ist auch die Encystierung mancher im Darm ihrer Wirte schmarotzender Protozoen bei Eindickung des sie umschließenden Darminhaltes (z. B. *Entamoeba coli*).

2) Bei zunehmender Verderbnis des Wassers aus Ursachen verschiedenster Art kann ebenfalls Schutz durch Encystierung eintreten.

3) Manche Arten encystieren sich zu Beginn des Winters (Winterschlafcysten von LANG). Daß es sich hierbei um Temperatureinwirkung handeln kann, geht daraus hervor, daß GREELY (1902) *Monasflagellaten* durch Abkühlung zur Encystierung brachte. Auch gewisse parasitische Protozoen encystieren sich unter dem Einfluß der Abkühlung in dem entleerten Kote (Beispiel: *Balantidium coli* aus dem Mastdarm des Schweines).

Diffugia encystiert sich regelmäßig zu Beginn des Winters; diese Encystierung erfolgt aber auch ausnahmslos, nur wenig verspätet, in Kulturen, die bei Zimmertemperatur gehalten werden, während sie umgekehrt im Sommer auch bei Abkühlung niemals zu beobachten war. Sie kann hier also trotz des zeitlichen Zusammenfallens keine Folge der winterlichen Temperaturerniedrigung sein, sondern muß in der Entwicklungsweise der Art begründet sein (ZÜLZER 1904).

B. Bestimmte Entwicklungsstadien sind häufig mit Encystierung verbunden, und zwar findet sich solche bei

4) Befruchtungsvorgängen (vgl. diesen Abschnitt) und

5) Vermehrungsvorgängen (Vermehrung im encystierten Zustande). Diese letztere ist meist multipel (vgl. z. B. Fig. 95 u. 159, D) und hierbei kann eine zweimalige Encystierung erfolgen, derart daß eine einheitliche Muttercyste eine mehr oder weniger große Zahl von Tochtercysten umschließt (z. B. *Actinosphaerium*, Coccidien, Gregarinen; Fig. 160, 161).

C. Im Zusammenhange mit der Ernährung stehen

6) die nach reichlicher Nahrungsaufnahme während der Verdauung gebildeten Verdauungscysten (z. B. von *Vampyrella*) und

7) die im entgegengesetzten Falle, bei andauerndem Nahrungsmangel gebildeten Hungercysten (z. B. von *Oxytricha*).

1) Nach Untersuchungen von PUSCHKAREW (1913) findet eine Verbreitung der Süßwasserprotozoen mit dem vom Winde verwehten Staube zwar statt, aber doch nur in so geringem Grade, daß der Kosmopolitismus der Protozoen durch sie nicht erklärt werden könne. Andererseits werden an den Füßen von Vögeln und anderen Tieren sehr oft Protozoencysten verschleppt.

Mehrere dieser Bedingungen können sich miteinander kombinieren; so kann vor allem die Bildung der Dauercysten parasitischer Protozoen gleichzeitig mit bestimmten Entwicklungsvorgängen verbunden sein.

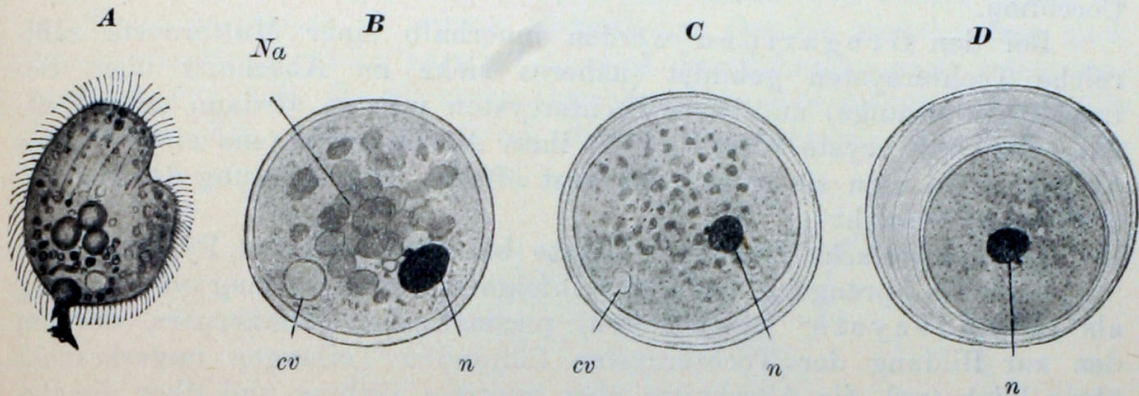


Fig. 158. Bildung der **Dauercyste** von **Colpoda cucullus** EHRENG. Nach DOFLEIN (1909). **A** Freies Infusor bei der Defäkation. **B, C** Stadien der Bildung der äußeren Cystenhülle. **D** Auf der Oberfläche des stark verdichteten Plasmakörpers ist auch die dünnere innere Cystenhülle abgeschieden. *cv* pulsierende Vakuole (nach Beendigung der Encystierung verschwunden), *n* Makronucleus mit dem ihm dicht anliegenden Kleinkern, *Na* Nahrungspartikel. Vergr. ca. 400 : 1.

(Beispiel: *Entamoeba coli*, Coccidien, Gregarinen.) Andererseits können bei einer Art verschiedene Arten von Cysten nebeneinander vorkommen (z. B. *Colpoda*, Fig. 158 und 159).

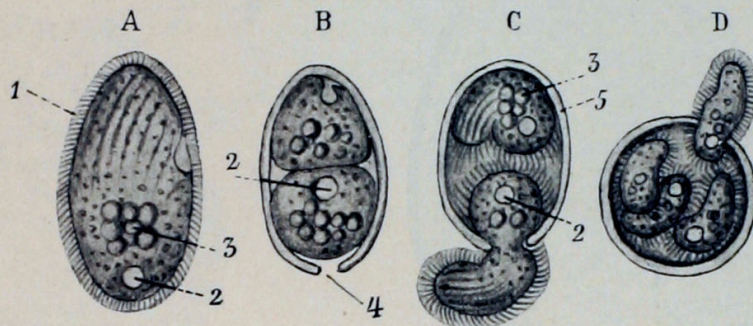


Fig. 159. **Teilungscysten** von **Colpoda cucullus** EHRENG. **A** Beginn der Bildung der anfangs gallertigen Cystenwand. **B** Ausgebildete Cyste. Das eingeschlossene Infusor hat sich nach Verlust seiner Wimpern zweigeteilt. **C** Ausschlüpfen der Sprößlinge aus einer zweiteiligen, **D** desgleichen aus einer vierteiligen Cyste. 1 Cystenhülle, 2 pulsierende Vakuole, 3 Nahrungsballen, 4 Oeffnung in der Cystenwand. Vergr. ca. 450 : 1. Nach RHUMBLER (1888).

Von Interesse ist auch die Art des Ausschlüpfens aus der Cystenhülle. Besaß die Hülle eine dauernde Oeffnung, so wird diese auch für das Ausschlüpfen benutzt (Fig. 159); in der Regel aber muß die Hülle gesprengt oder durch Neubildung von Oeffnungen durchsetzt werden und für beide Zwecke können besondere Einrichtungen ausgebildet werden.

Als Beispiel für das Ausschlüpfen durch eine persistierende Oeffnung können die Teilungscysten von *Colpoda* dienen, deren Oeffnung von dem zuerst ausschlüpfenden jungen Tier nur etwas erweitert zu werden braucht (Fig. 159).

Sprengung der Cystenwand erfolgt sehr häufig einfach dadurch, daß der stark verdichtete eingeschlossene Plasmakörper wieder Wasser

aufnimmt und sich infolgedessen ausdehnt. Lehrreiche Beispiele für besondere Einrichtungen zum Zwecke der Sprengung oder verschiedenartigen Durchbrechung der Cystenwand liefern die Gregarinen und Coccidien.

Bei den Gregarinen werden innerhalb einer Muttercyste zahlreiche Tochtercysten gebildet (näheres siehe im Abschnitt über Befruchtungsvorgänge) und diese Tochtercysten werden alsdann unter Oeffnung der Muttercyste zerstreut, um ihrer Aufnahme seitens eines Wirtes zu harren, in dem sie selbst sich erst öffnen. Die Oeffnung der Muttercyste wird erreicht

- 1) durch einfaches Bersten der Cyste (bei *Actinocephalus*, *Pyxinia* u. a.);
- 2) durch Sprengung der Cyste infolge starker Quellung eines (häufig als „Pseudocyste“ bezeichneten) plasmatischen Restkörpers, der bei den zur Bildung der Tochtercysten führenden Teilungen unverbraucht übrig blieb (vgl. die Abschnitte über multiple Teilung und über die Befruchtungsvorgänge bei Gregarinen), und in der Muttercyste oberflächlich (bei *Dactylophoriden*, Fig. 160) oder zentral (bei *Stylorhynchiden*) liegt; oder endlich

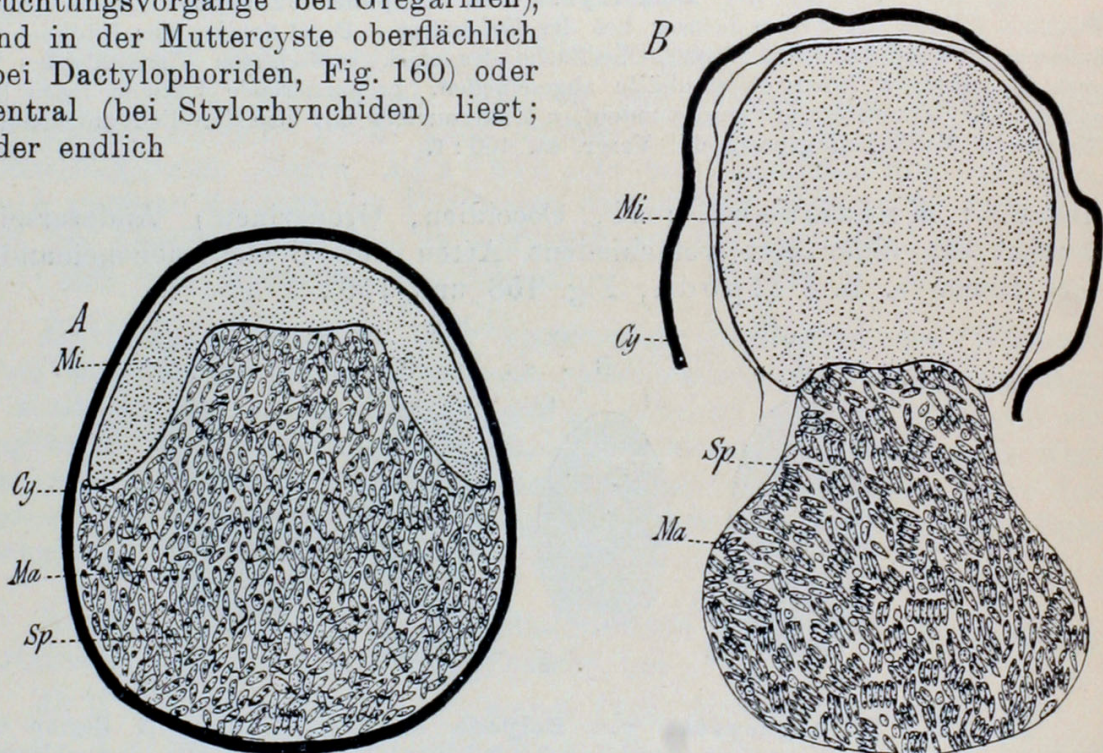


Fig. 160. **Cyste** von *Echinomera hispida* (AL. SCHN.) (*Dactylophoride*). *A* noch geschlossen, *B* geöffnet. *Cy* Hülle der Muttercyste, *Mi* „Pseudocyste“ oder Quellkörper (Restkörper des Mikrogametocyten), *Sp* Tochtercysten. (Bezüglich weiterer Erklärungen vgl. den Abschnitt über Befruchtungsvorgänge.) Nach SCHELLACK (1907) aus DOFFLEIN (1909).

- 3) durch Ausstülpung der sogenannten Sporodukte (bei *Gregarina*), deren Entwicklung von KUSCHAKEWITSCH (1907) verfolgt wurde. Wenn innerhalb der Muttercyste die Tochtercysten bereits gebildet sind, sind diese in einem zentralen Hohlraum („Brutraum“) eingeschlossen, dessen unmittelbare Begrenzung von einem in spezifischer Weise umgewandelten, alveolären und an seiner Innenfläche besonders engmaschigen Rest des Plasmas der mütterlichen Gregarinen gebildet wird. An manchen Stellen dringt der Brutraum mit schornsteinartigen Ausläufern bis nahe an die Oberfläche dieser Plasmahülle vor (Fig. 162, *A*) und über diesem Brutraumausläufer senkt sich die äußere Oberfläche der Hülle zunächst schüsselförmig ein (Fig. 162, *B*), um dann den

Sporodukt in Form eines doppelwandigen, stark färbbaren, innen blind geschlossenen Röhrchens in die Tiefe wachsen zu lassen (Fig. 162, C). Der ausgebildete Sporodukt (Fig. 162, D) hat die Form eines etwas gebogenen doppelwandigen Trichters, dessen innere und äußere Wand an der Cystenperipherie zu einem einheitlichen Gebilde verschmolzen sind. Sobald die Cyste völlig gereift ist, wird das Röhrchen nach außen umgestülpt (Fig. 162, E—F) unter Durchbrechung der äußeren Gallerthülle der Cyste (Fig. 161) und durch diesen ausgestülpten Sporodukt hin-

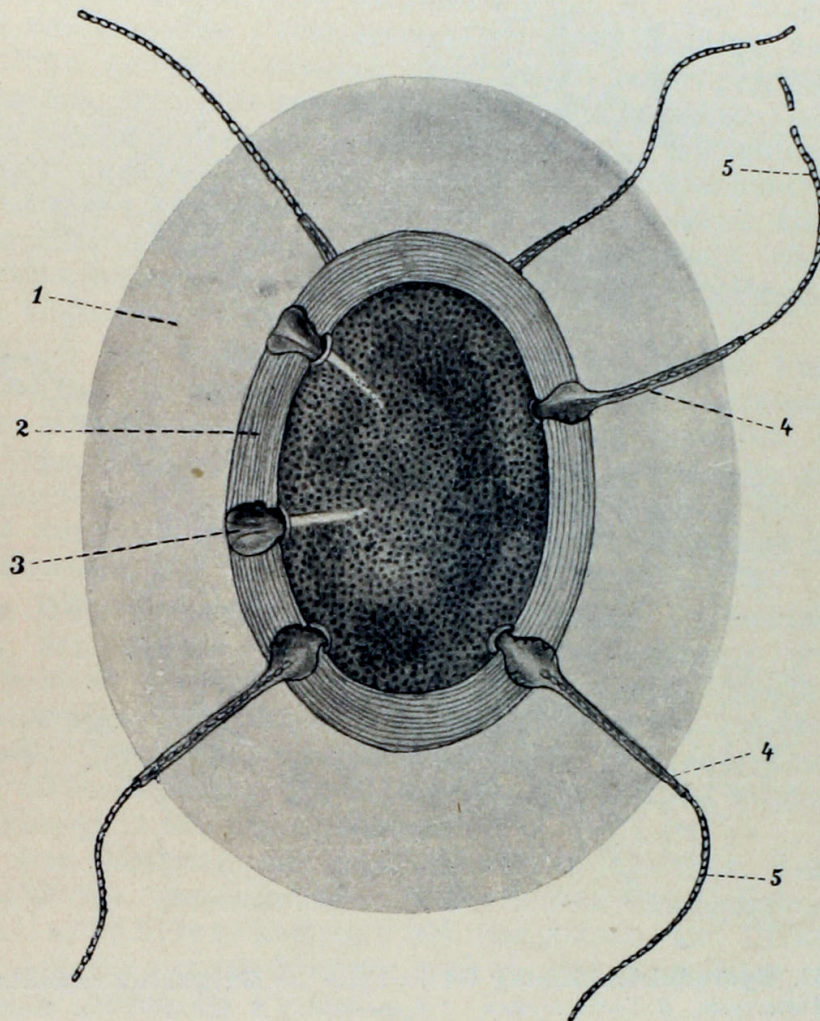


Fig. 161. **Reife Cyste** von **Gregarina blattarum** SIEB. 1 Äußere Gallerthülle, 2 innere Cystenhülle, 3 noch eingestülpte, 4 ausgestülpte Sporodukte, 5 aus den Sporodukten in perlschnurförmiger Aneinanderreihung hervortretende Tochtercysten.

durch gelangen die Tochtercysten, bei vielen Arten zu einer langen Kette verbunden, aus der Muttercyste heraus ins Freie. Die Ausstülpung wird vermutlich durch einen im Innern der Muttercyste auftretenden Ueberdruck veranlaßt, doch ist hierüber nichts Sicheres bekannt. — Hinsichtlich weiterer Einzelheiten über den komplizierten Bau der ausgebildeten Sporodukte muß hier der Hinweis auf die Angaben SCHNITZLERS (1905) über *Gregarina ovata* genügen.

Die auf eine dieser Arten entleerten Tochtercysten sind die Dauer-cysten der Gregarinen, die sich erst unter dem Einfluß der Darmsäfte eines geeigneten Wirtes öffnen, um die jungen Keime (Sporozoiten) austreten zu lassen. Dies kann auf dem Wege geschehen, daß die Wan-

dung der Cyste in Form von vier Klappen auseinanderklafft (z. B. bei *Pteroccephalus*). Eine ähnliche Oeffnung von Cystenhüllen durch Auseinanderklaffen einer zweiklappigen Schale ist auch bei Coccidien weit verbreitet, bei denen außerdem ein Ausschlüpfen der Sporozoiten durch eine vorher verschlossen gewesene feine Oeffnung der Cyste („Mikropyle“) vorkommt (vgl. hierzu die Besprechung und Abbildung der Sporogonie eines Coccids in dem Abschnitt über Generationswechsel).

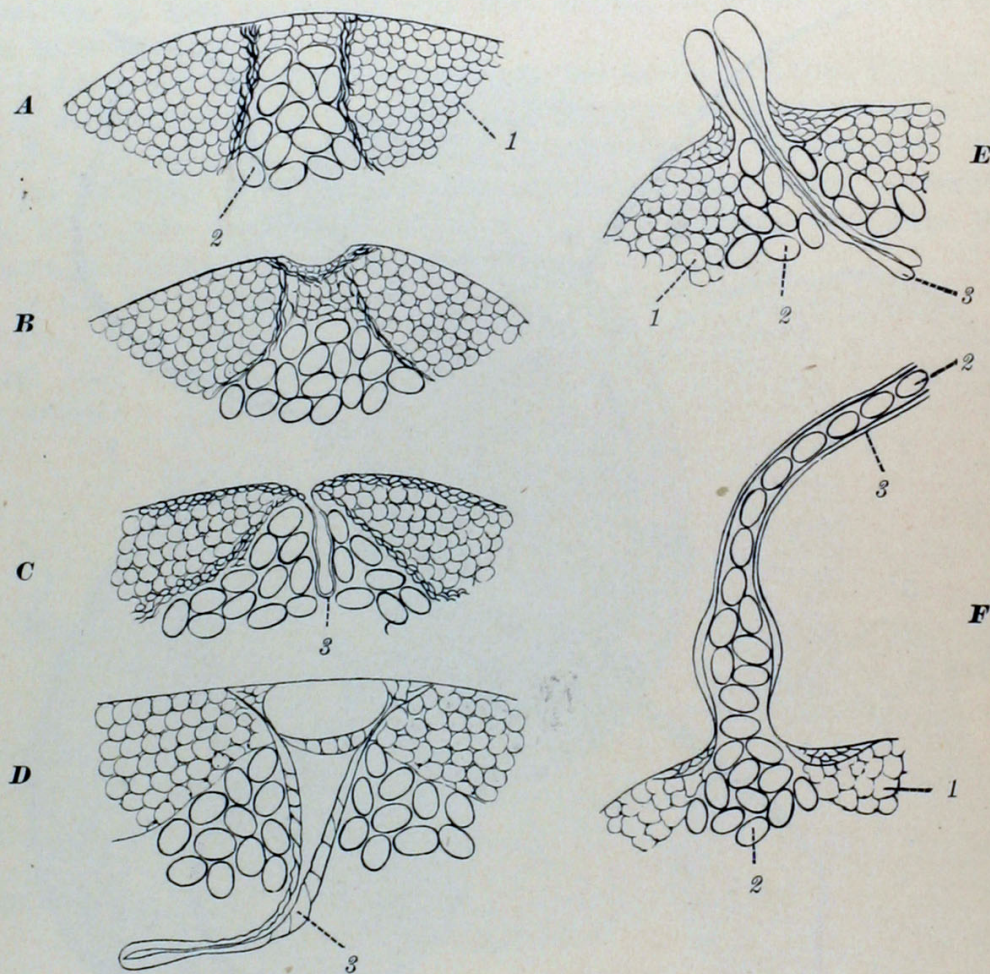


Fig. 162. **Sporoduktenbildung** bei der Cyste von *Gregarina cuneata*. 1 Innere Hülle der Muttercyste, 2 Tochtercysten, 3 Sporodukt. **A** Ein Teil der Muttercyste mit optischem Längsschnitt durch einen schornsteinartigen Ausläufer des von Tochtercysten erfüllten Brutraumes. **B** Grubige Einsenkung an der Oberfläche der inneren Cystenhülle. **C** In die Tiefe wachsender Sporodukt. **D** Fertig ausgebildeter Sporodukt. **E** In Umstülpung begriffener Sporodukt. **F** Umgestülpter Sporodukt im Beginn der Entleerung der Tochtercysten. Nach KUSCHAKWITSCH (1907).

Den Cysten anderer Protozoen funktionell vergleichbar sind auch die sogenannten Schalen, welche die Dauerformen (Cnidosporen) der Cnidosporidien umschließen. Morphologisch ist ihre Entstehung jedoch eine ganz abweichende. Näheres folgt unten in dem Abschnitt über die Fortpflanzung der Cnidosporidien.

b) Hüllen, Gehäuse und Schalen.

Während bei zahlreichen Protozoen das Ektoplasma, mit oder ohne Differenzierung einer Pellicula, die einzige dauernde oberflächliche Schutzbildung darstellt, finden wir andererseits in allen Klassen

mit Ausnahme der rein parasitischen Cnidosporidien und Sporozoen, in mehr oder weniger weiter Verbreitung alloplasmatische Schutzbildungen, die im Gegensatz zu den Cysten dauernd oder doch wenigstens während eines sehr großen Teiles des vegetativen Lebens vorhanden sind, die demnach auch eine, mehrere oder zahlreiche Oeffnungen besitzen müssen, durch die hindurch die Bewegungsorganellen nach außen treten, die Nahrung aufgenommen wird usw. Von der euplasmatischen Pellicula unterscheiden sie sich außer durch anderen chemischen Bau und Nichtbeteiligung an den Stoffwechselvorgängen des lebenden Protoplasmas vor allem dadurch, daß sie — mit Ausnahme gewisser schwach entwickelter gallertiger Hüllen sowie namentlich des Cellulosepanzers der Dinoflagellaten — die Teilungen des lebenden Zellinhalts nicht mitmachen. Wir unterscheiden unter diesen dauernden alloplasmatischen Oberflächenorganellen Hüllen, Gehäuse und Schalen, ohne daß freilich zwischen diesen drei Kategorien eine scharfe Grenze gezogen werden könnte, ebenso wie auch die alloplasmatischen Hüllen nicht durchweg gegen pelliculare Bildungen abgrenzbar sind.

A. **Hüllen** und **Gehäuse** finden wir vornehmlich bei Flagellaten und Infusorien. Sie können hier bei verschiedenen Gattungen, zum Teil sogar bei verschiedenen Arten einer und derselben Gattung völlig unabhängig voneinander auftreten. Sie unterscheiden sich voneinander durch mehr oder weniger dichte Anlagerung an den Plasmakörper und durch das Fehlen oder Vorhandensein einer oder mehrerer großer Oeffnungen.

1) Die **Hüllen** werden vom Zelleib allseitig abgeschieden und überziehen den ganzen Körper, dessen oberflächlicher protoplasmatischer Schicht sie dicht anliegen, ohne größere Unterbrechung. Die Fortsätze des Plasmakörpers (Geißeln, Wimpern, Pseudopodien) treten einzeln durch sie hindurch nach außen vor; außerdem finden sich nur Unterbrechungen der Hülle, wo der Zelleib größere Oeffnungen darbietet (z. B. am Cytostoma).

Nach dem Material, aus dem die Hüllen bestehen, kann man zwei Hauptformen unterscheiden: Gallerthüllen und Cellulosehüllen.

a) **Gallerthüllen** kommen bei Sarcodinen und Ciliaten nur sehr vereinzelt vor; etwas häufiger sind sie bei Flagellaten, namentlich bei koloniebildenden Formen.

Bezüglich der Hüllen der Sarcodinen sei auf die unten folgende Besprechung der Schalen verwiesen, die von solchen Hüllen abzuleiten sind.

Unter den Ciliaten kommt eine mäßig dicke Gallerthülle gelegentlich oder dauernd bei Arten der Gattung *Trachelophyllum* vor, wo sie ein wenig feinkörnig und trübe erscheint, sowie bei *Nassula elegans* (Fig. 60), wo sie ganz hyalin und deshalb sehr schwer wahrnehmbar ist. Die Wimpern ragen etwa zur Hälfte oder noch etwas mehr aus ihr hervor.

Unter den Flagellaten findet sich gelegentliche Ausscheidung weicher Gallerte nicht selten, besonders bei Euglenoideen, Chloro- und Chrysomonaden; bei ungünstigen Verhältnissen (Druck, Einwirkung von Reagentien) treten aus dem Ektoplasma geschlängelte Gallertfäden hervor, die durch nachträgliche Verquellung eine zusammenhängende Gallert-hülle bilden. Im übrigen beschränke ich mich auf die Anführung einiger

spezieller Beispiele für verschiedene Ausbildung von Gallerthüllen bei Flagellaten: *Mastigamoeba verrucosa* KENT hüllt sich zuweilen, auf einer Unterlage aufliegend, in einen halbkugeligen Gallertmantel, aus dem nur die Geißel hervorragt. Bei *Protospongia* (Fig. 163) und *Spongomonas* sind zahlreiche, durch fortgesetzte Teilung entstandene Einzelindividuen in eine gemeinsame Gallertmasse eingebettet,

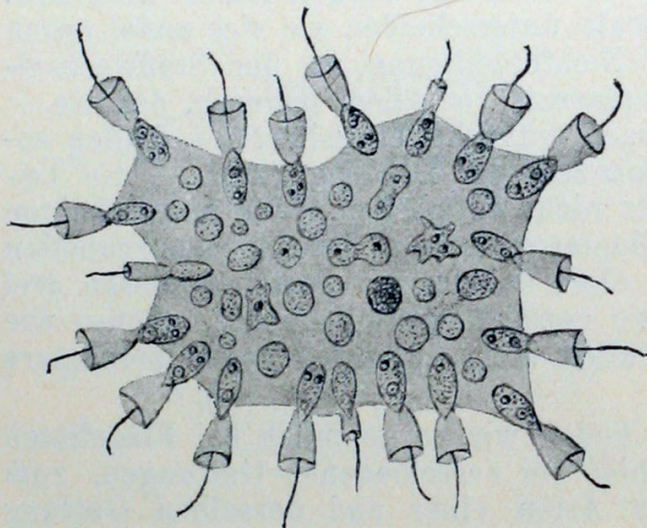


Fig. 163. ***Protospongia haeckeli*** S. K.
Vergr. ca. 600:1. Nach S. KENT 1880/82.

aus der ebenfalls nur die Geißeln (und bei *Protospongia* die für die Choanoflagellaten charakteristischen Kragenbildungen) der Einzeltiere hervorragen. Schöne Beispiele für Bildung von Gallerthüllen bei koloniebildenden Flagellaten sind ferner *Syncrypta* und *Chrysosphaerella* (Fig. 15, *F*) unter den Chrysomonadinen. Auch für sämtliche Volvociden sind Gallerthüllen charakteristisch (Fig. 15, *E* und 20, *A*).

Die Gallerthülle kann eine Verfestigung erfahren durch Einlagerung von Fremdkörperchen oder von Hartgebilden, die der Organismus selbst abgeschieden hat: Kieselnadeln (z. B. *Chrysosphaerella*, Fig. 15, *F*, 15 und *Heliozoen*) oder kohlensauren Salzen (z. B. *Trichosphaerium*, vgl. die unten folgende Besprechung der Sarcodinen-schalen).

b) Cellulosehüllen finden sich in Form einer gleichmäßigen dünnen Membran, die einen Porus zum Durchtritt der Geißeln besitzt, bei den häufig zu den Algen anstatt zu den Protozoen gerechneten Phytomonadinen (Volvocales) und sind ferner vor allem für die große Mehrzahl der Dinoflagellaten charakteristisch, bei denen sie in der Regel einen aus einzelnen dicht aneinander schließenden und dem Weichkörper dicht anliegenden Platten bestehenden Panzer bilden.

Die Gymnodinien sind nackt oder besitzen nur eine lockere gallertige Hülle und bei den Prorocentraceen besteht der Cellulosepanzer aus zwei seitlichen ungeteilten klappenartigen Hälften. Unter den Peridineen ist dagegen der Cellulosepanzer nur bei *Glenodinium* einheitlich, dünn, hyalin, während er bei allen anderen Gattungen aus bestimmt angeordneten Platten aufgebaut wird, die in verschiedener Weise verziert und auch von Poren durchsetzt sein können, während der ganze Panzer häufig horn-, stachel- oder flügelförmige Fortsätze besitzt.

Der Aufbau dieses Cellulosepanzers steht in engstem Zusammenhang mit der Anordnung der Geißeln (vgl. den Abschnitt über motorische Organellen), deren eine den Körper in einer Ringfurche umkreist, die meist als Einsenkung unter das Niveau der benachbarten Flächen erscheint (Fig. 231), bei manchen Arten aber auch dadurch zustande kommt, daß sich von dem Panzer zwei parallel nebeneinander hin ver-

laufende scharfe Leisten erheben (Fig. 164, *g*). Diese Furche mit ihrer Begrenzung bildet einen „Gürtel“ (Cingulum), der den Panzer in einen vorderen „apikalen“ und einen hinteren „antapikalen“ Teil teilt. Auf

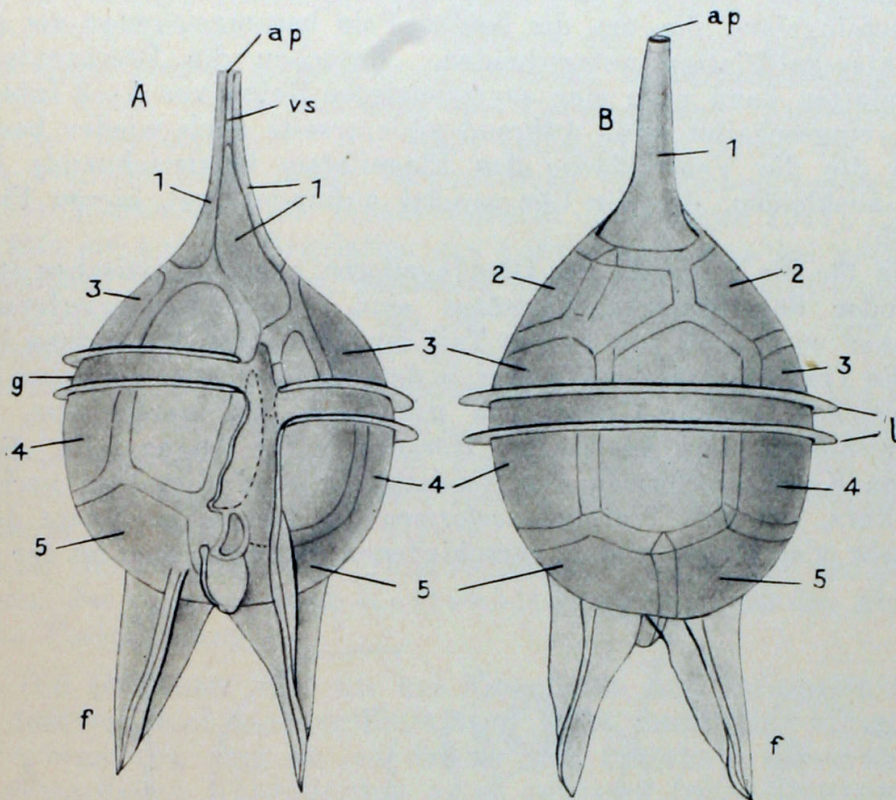


Fig. 164. **Podolampas elegans.** *A* Ventral-, *B* Dorsalansicht. Nach KOFOID (1909). *g* Gürtelfurche, *l* Leisten, die die Gürtelfurche begrenzen. Die übrigen Bezeichnungen wie in Fig. 165.

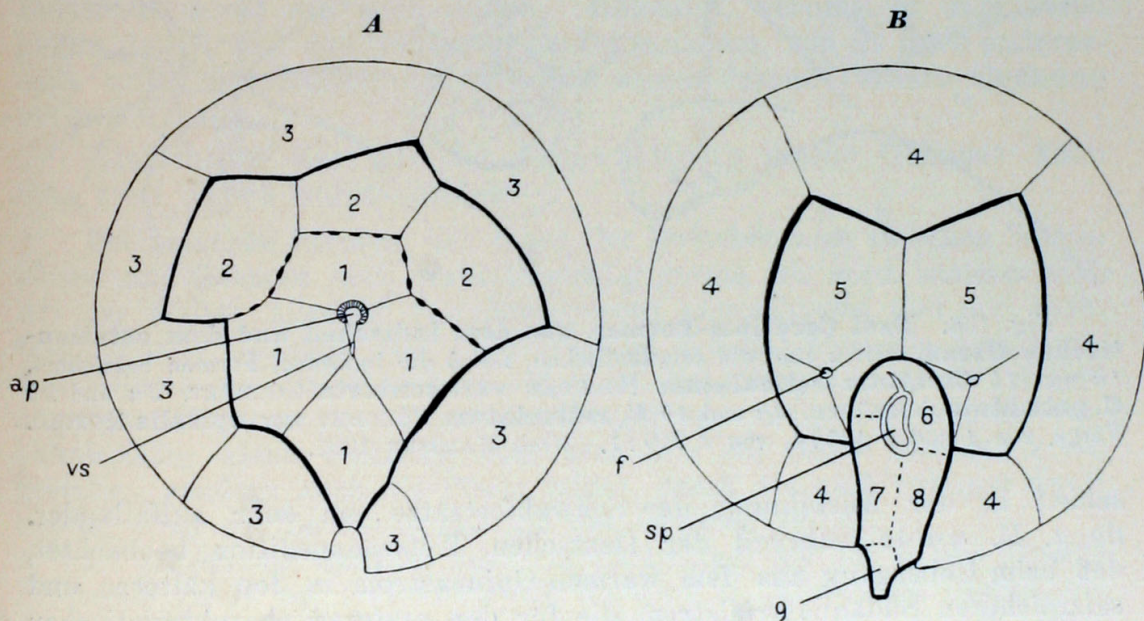


Fig. 165. **Podolampas elegans.** Schema der Anordnung der Platten des Cellulosepanzers. *A* Apikal-, *B* Antapikalansicht. Nach KOFOID (1909). *ap* Apikalporus, *f* antapikale Fortsätze, *sp* Geißelspalt, aus dem die beiden Geißeln hervortreten, *vs* ventraler Spalt, der sich vom Apikalporus nach hinten zieht. 1 4 Apikalplatten, 2 3 Interkalarplatten, 3 7 Präcingularplatten, 4 5 Postcingularplatten, 5 2 Antapikalplatten, 6 hintere, 7 linke, 8 rechte und 9 vordere Platte der Längsfurche.

dem apikalen Pole findet sich meist ein offener Porus (Fig. 164, *ap*). Die Platten des Panzers lassen mehr oder weniger deutlich eine ringförmige Anordnung erkennen und wir können dann mit KOFOID (1909) die unmittelbar vor und hinter dem Gürtel gelegenen als Präcingular- und Postcingular-, die um die beiden Pole herumgelegenen als Apikal- und Antapikal-Platten unterscheiden. Zwischen die Präcingular- und Apikalplatten kann noch eine asymmetrische Reihe von 1—3 Interkalarplatten eingeschaltet sein, während andererseits auch wieder besondere Platten die die Ventralfläche des Flagellaten kennzeichnende Längsfurche auskleiden, die die Längsgeißel aufnimmt (vgl. hierzu Fig. 164 und 165).

Die für die Mehrzahl der Dinoflagellaten charakteristischen stachel-, horn- oder flügelförmigen Fortsätze sind Schwebeinrichtungen und daher wird auch zum großen Teil der Grad ihrer Ausbildung bedingt durch die Tragfähigkeit des Wassers, in dem sie leben, was vor allem bei der formenreichen Gattung *Ceratium* mit ihren drei verschieden langen und verschieden stark gespreizten Hörnern in die Augen fällt. Bei den typischen Kaltwasserformen des Nordatlantik sind dieselben verhältnismäßig kurz, bei den Warmwasserformen der tropischen Meere dagegen meist sehr viel länger und in verschiedenen Stromgebieten ist der Unter-

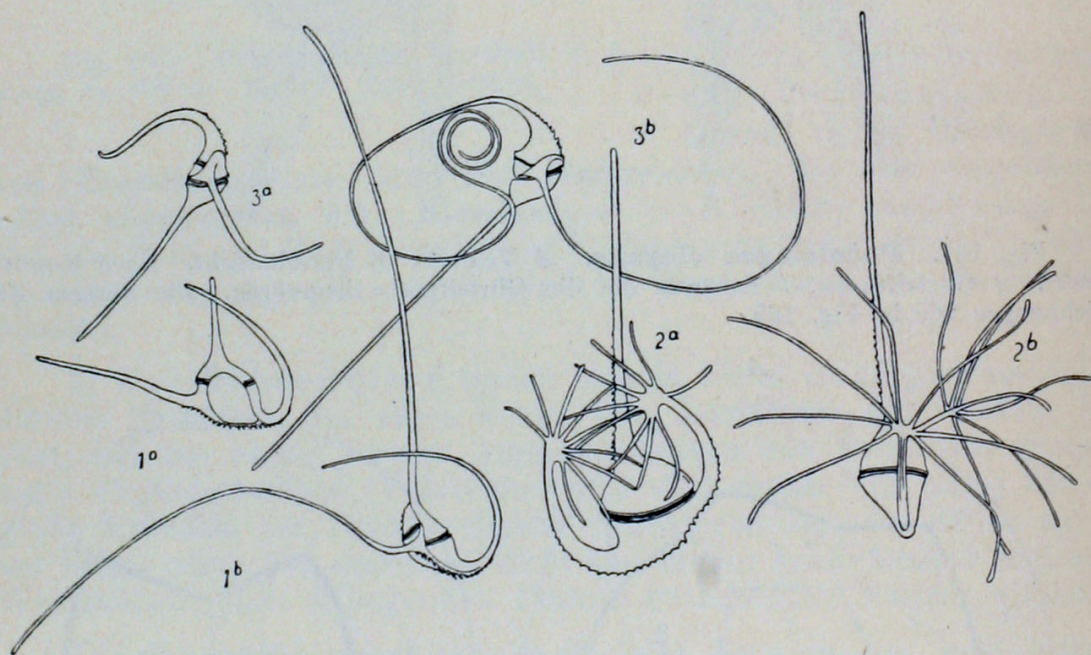


Fig. 166. **Drei Ceratium-Formen aus dem indischen und dem ostatlantischen Ozean.** Mit *a* sind die ostatlantischen, mit *b* die indischen Formen bezeichnet. *1a* und *1b* ***Ceratium reticulatum* POUCHET var. *contorta* GOURRET.** *2a* und *2b* ***C. palmatum* SCHRÖDER.** *3a* und *3b* ***C. reticulatum* POUCHET var. *spiralis* KOFOID.** Vergr. von *1* und *3* 125:1, von *2* 250:1. Nach KARSTEN 1907.

schied in der Ausbildung der Schwebefortsätze ein sehr auffallender. So z. B. wurde während der Deutschen Tiefseeexpedition beobachtet, daß beim Uebergang aus dem warmen Guineastrom in den kälteren und salzreicheren Südäquatorialstrom die für den ersteren charakteristischen langhörnigen Ceratien „wie mit einem Schlage“ verschwanden und dafür andere Arten mit ganz kurzen Fortsätzen zur Alleinherrschaft gelangten. Bemerkenswert ist auch der große Unterschied in der Ausbildung der Hörner bei den indischen und ostatlantischen Lokalvarietäten ein und derselben Arten (Fig. 166), den KARSTEN (1907) nur auf

die etwas geringere Wasserdichte des indischen Oceans im Vergleich zum ostatlantischen (1,021—1,022 gegenüber 1,023) und die etwas höhere und gleichmäßigere Temperatur des ersteren zurückführen kann.

Bei dem einzelnen Ceratium können die Hörner nicht nur durch Wachstum verlängert, sondern auch durch Autotomie verkürzt werden. Diese Autotomie, nach der die Bruchfläche der Hörner glatt und eben, wie mit einem Messer abgeschnitten erscheint, ist verhältnismäßig häufig und wird durch lokale Auflösung der Cellulosewand (Auftreten einer Ringfurche) herbeigeführt. Sie stellt vielleicht ein Mittel dar, um die aktiv bewegliche Zelle durch Verminderung des Reibungswiderstandes in andere Wasserschichten hinüberzuführen (JÖRGENSEN 1911). KOFOID (1908) faßt sie auf als Regulation des Schwebvermögens bei geänderten physikalischen Verhältnissen, besonders bei Temperaturniedrigung. Sie ist bei Tiefenformen häufiger als bei Oberflächenformen. Die derart verkürzten Hörner können später wieder regeneriert werden.

Als Regulation des Schwebvermögens ist wohl auch die von KOFOID (1908) studierte teilweise Häutung der Peridineen aufzufassen, die anscheinend sehr viel seltener ist als die Autotomie und bei der einzelne dicke und stark strukturierte Platten des Panzers abgeworfen und durch zarte und dünne ersetzt werden.

Ueber die Erhöhung des Formwiderstandes und damit des Schwebvermögens der Ceratien durch Kettenbildung vgl. auch den Abschnitt über die Fortpflanzung.

2) Die **Gehäuse**, die wir bei Flagellaten und Infusorien finden, liegen dem eingeschlossenen Zellkörper nicht unmittelbar an, sondern stehen etwas von ihm ab, so daß er sich innerhalb seiner zum Gehäuse gewordenen Absonderung einer gewissen freien Bewegung erfreuen kann. Sie haben wenigstens eine größere Oeffnung, die sich in der Regel am Vorderende befindet. Der — ungestörte — Körper tritt mit seinem Vorderende in diese Oeffnung oder entsendet seine Fortsätze durch sie nach außen. Beleidigt, vermag er sich meist gegen den Grund des Gehäuses zurückzuziehen, wie er auch andererseits unter Umständen das Gehäuse durch dessen vordere Oeffnung verlassen kann.

Hinsichtlich der Art der Entstehung dieser Gehäuse kann man zwei Typen unterscheiden:

Bei manchen Formen, bei denen der Zwischenraum zwischen Weichkörper und Gehäuse noch verhältnismäßig gering ist, wird letzteres nach Art der Hüllen allseitig vom Protoplasma abgeschieden und erst nachträglich tritt zwischen dem abgesonderten Produkt und dem absondernden Zellleib ein Zwischenraum auf, z. B. bei *Chrysococcus*, dessen kugeliges Gehäuse der Form des Flagellaten entspricht, dessen verhältnismäßig kleine Oeffnung aber nicht nur der Geißel den Durchtritt gestattet, sondern auch die Pforte bildet, durch die nach erfolgter Zweiteilung einer der beiden Sprößlinge das Gehäuse verläßt.

Ist jedoch das Gehäuse sehr viel geräumiger als das in ihm lebende Protozoon (z. B. bei *Dinobryon*), so wird es „allmählich gebaut, indem zuerst der untere Teil wohl allseitig zugleich gebildet wird, dann aber der Zellkörper sich ausstreckt, um auch den äußeren weiteren Teil zu bilden. Dabei nimmt er die Gestalt an, welche das Gehäuse dort erhalten soll, und scheidet so, im ganzen zu bauenden Gehäuse herumwandernd, nach und nach dasselbe aus. Nach Vollendung des Baues

zieht sich die Zelle wieder in den unteren Teil zurück“ (SENN). Bei dem mit Dinobryon nahe verwandten Hyalobryon erfolgt die Bildung des Gehäuses in einzelnen Absätzen, indem einem anfangs dinobryon-ähnlichen Gehäuse nach und nach mehrere, auch äußerlich abgesetzte, ringförmige Zuwachszonen am Mündungsrande angebaut werden.

Nach dem Material kann man Gallertgehäuse, häutige (pseudochitinöse) Gehäuse, Gehäuse aus Kalkplatten und Kieselgehäuse unterscheiden. Eine Verstärkung kann auch hier wieder dadurch erfolgen, daß Fremdkörper mit der Gallert- oder Pseudochitinsubstanz verkleben. Die jungen Gehäuse sind fast immer durchsichtig und farblos; mit zunehmendem Alter können sie jedoch verschiedene Färbungen annehmen.

a) Gallertgehäuse sind selten. Unter den Heterotrichen bildet *Stentor roeseli* EHRENBERG im festsitzenden Zustande eine gallertige Wohnröhre (Fig. 299) und unter den Hypotrichen vermag *Stichotricha* eine Gallertröhre abzusondern, die vielmal länger werden kann wie ihr Bewohner und die zuweilen bei der Vermehrung des Röhrenbewohners eine dichotome Verästelung erfahren und zur Entstehung kleiner Kolonien Anlaß geben kann. In ähnlicher Weise verästelte Gallertgehäuse sind charakteristisch für die Heterotriche *Maryna socialis* GRUBER und die Flagellatengattungen *Cladomonas* und *Rhipidodendron* (näheres hierüber siehe in dem Abschnitt über Haftorganellen).

Berühmt sind die in Seen und größeren Teichen oder Sümpfen vorkommenden koloniebildenden Ophrydien, peritriche Infusorien, deren knollenförmige Kolonien bis über 10 cm Durchmesser erreichen können. Die überaus zahlreichen Einzelindividuen der Kolonie sitzen an den Endzweigen eines allseitig reich verästelten, dünnen Stieles, der, wenigstens anfänglich, an einer Unterlage (Wasserpflanzen) befestigt ist (Fig. 65). Die ganze Kolonie mit ihrem gemeinsamen stark dichotom verästelten Stiel ist aber in eine gemeinsame Gallertmasse eingebettet, in der nur an der Oberfläche zur Aufnahme der Einzelindividuen becherförmige Vertiefungen ausgespart bleiben. Häufig bilden sich im Innern der Gallerte Gasbläschen, was die Loslösung der Kolonie herbeiführt, die dann an die Oberfläche des Wassers emporsteigt und flottierend angetroffen wird. Jede Kolonie wird von einem einzigen Individuum gegründet, welches nach hinten einen einfachen Stiel und zu gleicher Zeit allseitig ein Gallertgehäuse absondert. Es pflanzt sich durch Teilung fort, die beiden Tochterindividuen bilden wieder je einen Stiel als Verästelung des ursprünglichen und sondern weitere Gallerte ab usw. Benachbarte Kolonien können miteinander verwachsen.

Daß zwischen gallertigen und häutigen Gehäusen kein scharfer Gegensatz besteht, lehren vor allem einige Tintinnoiden, deren Gehäuse im Gegensatz zu der überwiegenden Mehrzahl dieser Infusoriengruppe nicht häutig ist, sondern die Form zylindrischer Gallertröhren hat und die lediglich deshalb zu der anscheinend ziemlich künstlichen Gattung *Tintinnidium* zusammengefaßt werden.

b) Häutige Gehäuse bestehen wohl meist aus einer dem Pseudochitin der Sarcodinenschale entsprechenden Substanz (vgl. S. 181), bei Flagellaten aber zum Teil auch aus Cellulose. Sie sind ziemlich fest und meist dünn und durchsichtig; nur selten erreichen

sie eine etwas größere Dicke, können dann aber auch einen Stachelbesatz tragen (z. B. *Trachelomonas hispida*). Außer bei den pelagischen Tintinnoideen finden sie sich fast ausschließlich bei fest-sitzenden Formen, und zwar sowohl bei einzellebenden als bei koloniebildenden; oft sitzen sie dünnen fadenförmigen Stielen auf (vgl. hierzu auch unten den Abschnitt über Haftorganellen). Ihre Gestalt ist im einzelnen sehr verschiedenartig, doch wiegen schüssel-, becher-, vassen-, urnen-, fingerhut- und röhrenförmige Gehäuse vor.

Nachstehend einige Beispiele solcher Gehäuse.

Flagellata. 1) Einzeln lebende Formen: *Codonoeca*, *Bicosoeca*, *Diplomita*, *Salpingoeca* (Fig. 6), *Ascoglena*, *Trachelomonas*, *Epipyxis*, *Derepyxis* (Fig. 333), *Chrysopyxis* (Fig. 225 B), *Phacotus* (Gehäuse linsenförmig, zweiklappig). 2) Koloniebildende Formen: *Poteriodendron* (die Stiele der jüngeren Individuen sind an der Innenwand der Gehäuse der älteren befestigt), *Dino-*

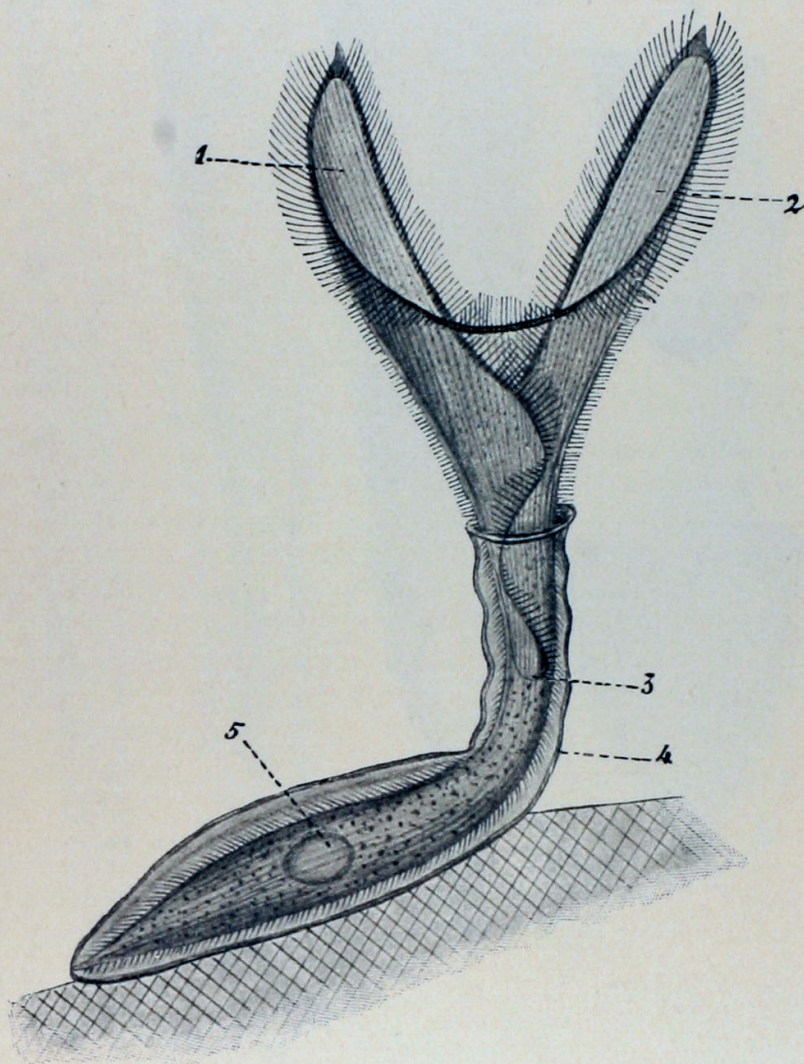


Fig. 167. **Folliculina ampulla** MÜLL. von der Rückenfläche, schön entfaltet, bis 1 mm lang, marin. 1, 2 die beiden flügelartigen Auswüchse des Stirnfeldes, auf die sich die adorale Membranellenzone fortsetzt, 3 Cytostom im Grunde des Peristomatrichers, 4 pseudochitines, flaschenförmiges Gehäuse, in das sich das ganze Tier zurückziehen kann, 5 Kern. Nach STEIN 1867.

bryon (Fig. 15, D; das stielförmig ausgezogene Hinterende des Gehäuses der jüngeren Individuen der freischwimmenden buschförmigen Kolonien am inneren Mündungsrand der Gehäuse der älteren Individuen befestigt), *Bicosoeca socialis* (Fig. 5), *Polyoeca* (Fig. 268).

Ciliata. Die elegante marine Heterotrichengattung *Folliculina* besitzt ein flaschenförmiges Pseudochitingehäuse, welches mit der Unterlage verkittet ist (Fig. 167) und in dessen Halsteil sich eine klappenartige Einrichtung zum Verschluss der Gehäusemündung findet. Unter den Peritrichen finden sich ungestielte oder kurzgestielte, an der

Unterlage befestigte Gehäuse bei den Arten der Gattungen Cothurnia und Lagenophrys (einzeln lebende Tiere), bei denen ebenfalls in Form von Deckelbildungen besondere Einrichtungen zum Verschuß der Gehäuse vorkommen. Vor allem aber sind Gehäuse charakteristisch für die große Familie der planktonisch lebenden Tintinnnoideen, die wir als ausgewähltes Beispiel für Gehäusebildung im Anschluß an BRANDT (1907) etwas näher betrachten wollen:

Die Form des ganzen Tintinnengehäuses, in dessen Grunde der Weichkörper des Tieres mit einem stielartigen Fortsatz befestigt ist,

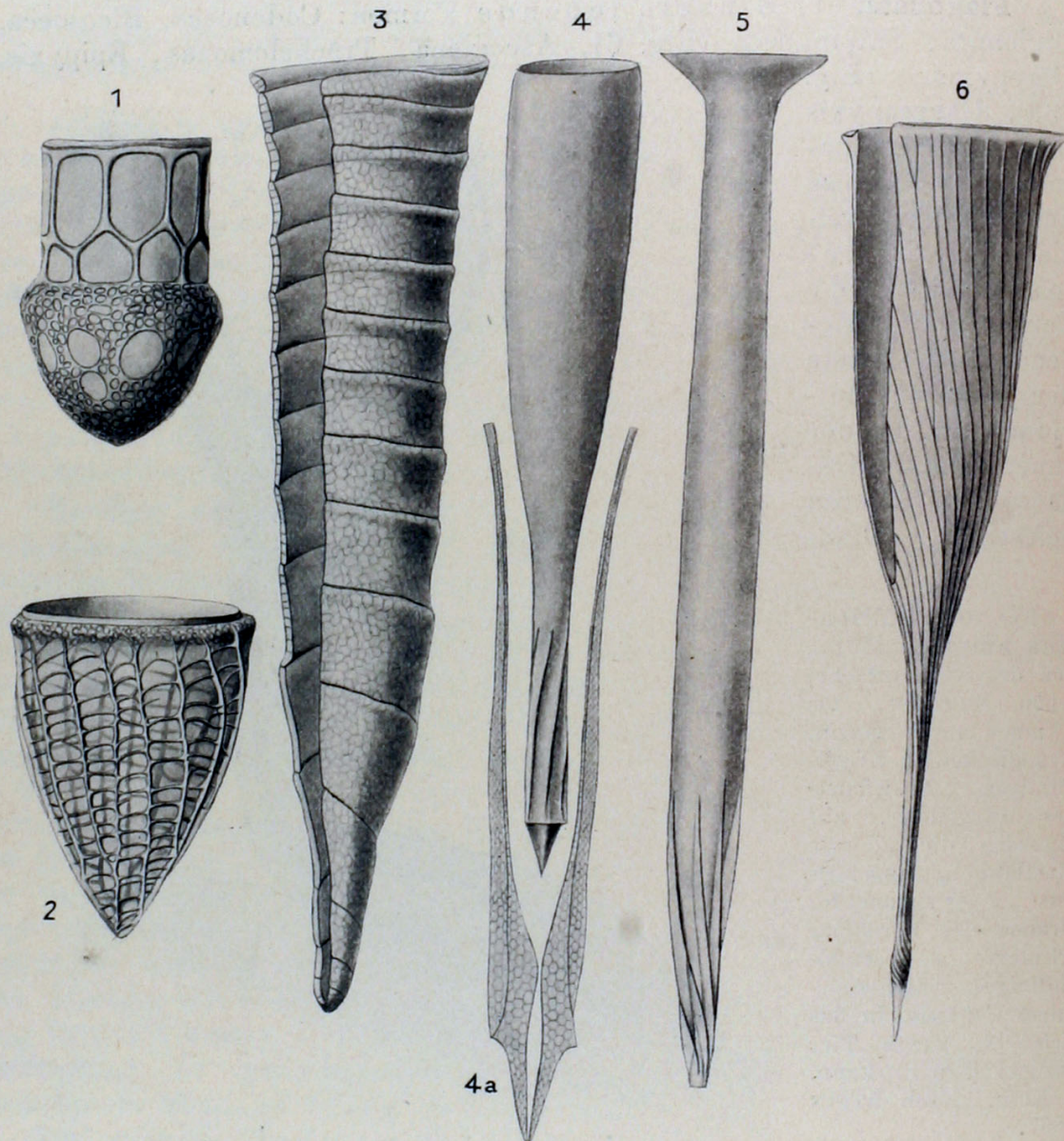


Fig. 168. **Tintinnengehäuse.** 1 **Dictyocysta elegans** EHRBG. Irmingersee Vergr. 424:1. 2 **Ptychocyclis nervosa** (CLEVE). Sargasso-See. Vergr. 424:1. 3 **Coxiella pseudannulata** JÖRGENS. Irmingersee. Vergr. 90:1. 4 **Xystonella armata** BRANDT. Neuseeland. Vergr. 220:1. 4a Hinterende derselben Art im Längsschnitt. Vergr. 424:1. 5 **Tintinnus acuminatus** CLAP. & LACHM. Kieler Förde. Vergr. 376:1. 6 **Rhabdonella spiralis** (FOL.). Azoren. Vergr. 90:1. Nach BRANDT.

ist außerordentlich verschieden, bald urnen-, glocken-, vasen- usw. förmig, bald lang trichter- oder gar röhrenförmig (vgl. Fig. 168). Dem entsprechend schwankt seine Länge zwischen 0,03 und 0,75 mm. Das meist geschlossene, seltener mit weiter oder feiner Oeffnung versehene Hinterende ist bald

bauchig abgerundet, bald fein zugespitzt; Zwischenformen zwischen diesen Extremen sind zahlreich; auch kann ein besonderer Spitzenteil von dem Wohnfach sich absetzen, der bei einigen Arten sogar durch eine dünne Scheidewand abgekammert ist (Fig. 169, 3). Die Mündung des Gehäuses kann weiter, ebenso weit oder enger als das übrige Gehäuse sein. Meist ist ihr Rand glatt, bei einigen wenigen Arten dagegen gezähnt. Nicht selten ist der Mündungsteil des Gehäuses äußerlich oder innerlich von dem Wohnfach abgesetzt und zugleich durch abweichende Struktur gekennzeichnet; man bezeichnet ihn dann als „Aufsatz“ (Fig. 169, 1). Häufig ist er aber auch nur ohne Strukturabweichung durch besondere Formverhältnisse ausgezeichnet, z. B. durch eine sogenannte „Krempe“, d. h. eine mehr oder weniger starke schalltrichterartige Erweiterung (z. B. bei *Tintinnus acuminatus*, Fig. 168, 5), die offenbar dazu dient, bei zurückgezogenem Tier durch Vermehrung des Reibungswiderstandes die senkrechte Einstellung des Gehäuses zu erleichtern und die Geschwindigkeit des passiven Sinkens desselben etwas zu vermindern. Bei zurückgezogenem Tier wird nämlich der Schwerpunkt wohl stets so weit nach hinten verlagert, daß die Stellung des Gehäuses eine senkrechte wird, worauf das Tier passiv tiefer sinkt und sich hierdurch z. B. dem Einfluß der Wellenbewegung entzieht, wenn diese durch mechanische Reizung das Tier veranlaßt, sich ganz in das Gehäuse zurückzuziehen. Jene Schwerpunktsverlagerung kann durch die Gestaltung des Hinterendes des Gehäuses noch besonders begünstigt werden, so vor allem bei den Lanzentintinnen (*Xystonella*), deren langgestrecktes Gehäuse am Hinterende in eine scharfe Spitze ausläuft und dicht vor dieser unter erheblicher Verstärkung der Wandung zu einem „Lanzenknauf“ verdickt ist (Fig. 168, 4). Ist das Tier bei aktivem Vorwärtsschwimmen ganz ausgestreckt, so dient dagegen offenbar der Lanzenknauf dazu, dem aus der Gehäusemündung vortretenden Weichkörper das Gegengewicht zu halten und dadurch die horizontale Fortbewegung auf der Suche nach Nahrung zu erleichtern.

Die Struktur des Tintinnengehäuses, das nach ENTZ (1909) aus einem dem Pseudochitin der Rhizopodenschale außerordentlich ähnlichen, wenn auch nicht völlig mit ihm identischen Eiweißkörper besteht, ist

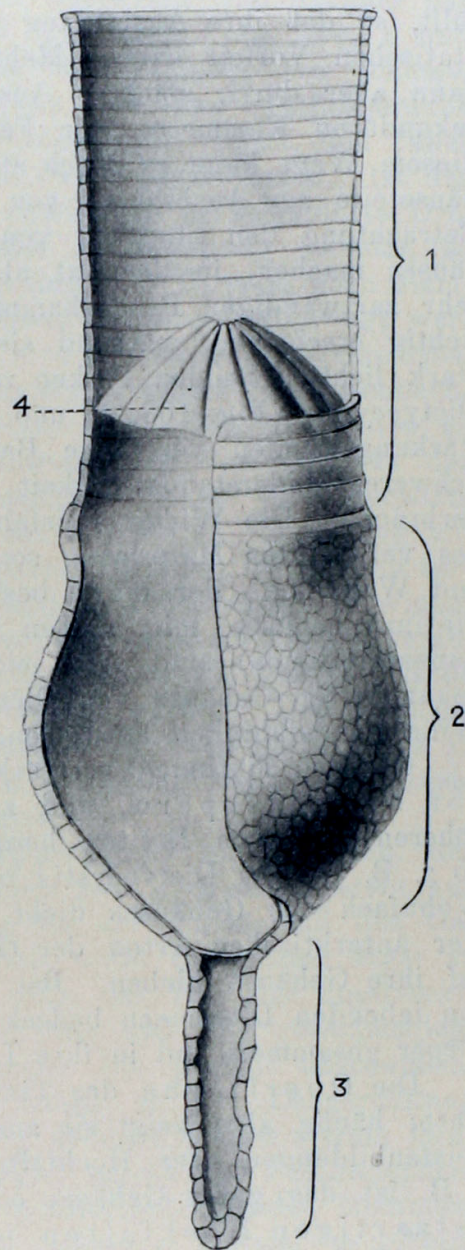


Fig. 169. *Codonella orthoceras* H., Gehäuse. 1 Aufsatz, 2 Wohnfach, 3 Spitzenteil, 4 Schließapparat (geschlossen). Vergr. 550:1. Nach BRANDT 1906.

schaumig, indem dasselbe aus feinen hexagonalen Waben aufgebaut wird (BIEDERMANN 1892, BRANDT 1907). An der Außen- und Innenfläche des Gehäuses bilden die Wände dieser Waben je eine zusammenhängende Grenzlamelle. Das Innere der einzelnen Kämmerchen ist nach BIEDERMANN'S Vermutung mit einer spezifisch leichteren Flüssigkeit gefüllt, so daß ihre Ausbildung für den Gehäusebewohner einen hydrostatischen Vorteil hätte. Mehrere der primären Kämmerchen können dann aber durch stärkere Ausbildung der Scheidewände zu größeren sekundären Kammern oder Feldern zusammengefaßt werden und auf diesem Wege kann es durch stärkere Differenzierung verschiedener Gehäuseteile zur Ausbildung von Fenstern kommen, die bei flüchtiger Betrachtung den Eindruck von gitterartigen Durchbrechungen des Gehäuses machen, in der Tat aber aus einer meist nur einfachen Lage sehr zartwandiger Primärkammern bestehen und daher recht durchsichtig erscheinen, während sie von mehr oder weniger dicken, meist stark lichtbrechenden Balken rahmenartig umgeben sind (vor allem bei *Dictyocystis* [Fig. 168, 1] und *Codonella*). Dieser alveoläre, mit Verstärkungswänden versehene Bau vereinigt die Vorzüge von geringer Schwere, Widerstandsfähigkeit und Elastizität bei geringem Materialverbrauch. Die Widerstandsfähigkeit hängt nicht nur von der Natur des verwandten Materiales, sondern wesentlich auch von Zahl, Größe und Wanddicke der einen bestimmten Raum erfüllenden Alveolen ab. Tintinnengehäuse mit großen und zartwandigen Kammern (z. B. die Lanzentintinnen) sind sehr leicht zu deformieren, während die feingekammerten Gehäuse von *Dictyocystis*, *Codonella*, *Undella* eine große Widerstandsfähigkeit aufweisen.

Gewisse Tintinnen verstärken ihr Gehäuse durch Auflagerung von Fremdkörpern, und zwar scheint dies besonders bei den in höheren südlichen Breiten heimischen Arten weit verbreitet zu sein. So z. B. ist bei *Dictyocystis coccolitholega* LOHMANN (1912) das ganze Wohnfach des Gehäuses dicht mit Coccolithen bedeckt, während die vier antarktischen Arten der Gattung *Leprotintinnus* Diatomeenschalen auf ihre Gehäuse kleben. Bei *Coxiella minor* ist das Gehäuse sogar von lebenden Diatomeen bedeckt (LAACKMANN 1910). Wie diese Fremdkörper gesammelt und in ihre Lage gebracht werden, ist unbekannt.

Die Oberfläche des Tintinnengehäuses ist in sehr vielen Fällen glatt; häufig aber zeigt sie auch eine charakteristische Skulptur durch Leistenbildungen oder Hochfaltungen. Bei *Ptychocyclis* (Fig. 168, 2) z. B. ist das ganze Gehäuse oder auch nur dessen hinterer Teil mit netzartigen Hochfalten der Außenlamelle versehen. Im letzteren Falle ist dann stets die Wand des vorderen Teiles, der überhaupt keine oder nur ganz schwache Falten besitzt, erheblich verdickt und aus mehrschichtig angeordneten Alveolen aufgebaut; zwischen den Hochfaltungen des hinteren Gehäuseteiles besteht die Wand dagegen nur aus einer einzigen Alveolenschicht. Die starken netzartigen Verdickungen finden sich also im Interesse der Festigkeit des Gehäuses gerade dort, wo die Gehäusewand im übrigen am dünnsten ist.

Häufiger sind oberflächliche Leistenbildungen in Form von Wulstungen, die in Ein- oder Mehrzahl das Gehäuse, namentlich in seinem vorderen Teile, umgürten und auch durch eine zusammenhängende enge Wulstspirale (Fig. 168, 3) ersetzt sein können. Ihre mechanische Bedeutung beruht wohl ähnlich wie bei den Kreppebildungen auf der Vermehrung des Reibungswiderstandes beim passiven Tiefersinken.

Nicht minder weit verbreitet sind bei mehr oder weniger langgestreckten Gehäusen *Spiralleisten*, die sich in der Längsrichtung des Gehäuses mit nur schwach spiraliger Krümmung erheben. Sie können sich über die ganze Länge des Gehäuses hinziehen (bei den Streifentintinnen, *Rhabdonella*, Fig. 168, 6), sind aber sehr viel häufiger nur auf das Hinterende beschränkt (z. B. bei *Xystonella*, Fig. 168, 4 und *Tintinnus acuminatus*, Fig. 168, 5). Sie sind offenbar von lokomotorischer Bedeutung, denn sie werden etwa wie eine Schiffsschraube wirken müssen, sobald das Tier um seine Längsachse rotiert, und daher dessen gradlinige Fortbewegung in hohem Grade unterstützen. Ist das Gehäuse erst durch die von den Peristomwimpern herbeigeführte Drehung des Tieres um die eigene Längsachse in Bewegung versetzt, so wird es in ähnlicher Weise wie ein abgeschossener Torpedo noch ziemlich lange durch die hinten befindliche Schraube weiter fortbewegt werden und für das Tier ergibt sich hieraus eine erhebliche Kraftersparnis.

Die Entwicklung des Tintinnengehäuses scheint nach Beobachtungen von SCHWEYER (1911) mit der Bildung des Mündungsteiles zu beginnen, indem im Anschluß an die Teilung des Weichkörpers der vordere, zunächst nackte Sprößling unmittelbar hinter dem Peristom eine schleimig-dickflüssige Masse abscheidet, welche bei Berührung mit dem Meerwasser rasch zu einem Ringe erhärtet (Fig. 334). SCHWEYER vermutet dann weiter, daß bei der schnellen und stets rotierenden Schwimmbewegung der Tintinnen jene abgeschiedene Substanz am Infusor herabfließe und dasselbe umwickle und hiermit könnte die ontogenetische Entstehung so mancher Gehäuseformen erklärt werden. Das Gehäuse einzelner Arten soll aber nach ENTZ (1909) auch noch nachträglich in die Länge wachsen können infolge der Abscheidung weiterer Gehäusesubstanz durch den Vorderkörper des Tieres.

Schließlich ist noch des Schließapparates zu gedenken, der häufig in den Tintinnengehäusen vorhanden ist. Derselbe besteht aus einer feinen Membran, welche ringförmig an der Innenwand des Gehäuses befestigt ist und sich kraterähnlich, unter Umständen sogar zu einem völlig glatten Zylinder ausweitet, wenn das Tier sich ausstreckt, sich dagegen in gewöhnlich 9—12 Falten über dem Tier zusammenlegt (Fig. 169, 4), wenn dieses sich zurückzieht. Sie besteht anscheinend aus abwechselnd festeren und weniger festen, in der Längsrichtung parallel verlaufenden Teilen, die ihr eine gewisse Steifheit trotz ihrer Biegsamkeit verleihen. In einzelnen Fällen macht der Schließapparat den Eindruck, als ob er nicht aus einer zusammenhängenden Membran, sondern aus 10—12 einzelnen dreieckigen Blättchen bestehe; es scheint aber bei der außerordentlichen Durchsichtigkeit und schweren Färbbarkeit der Membran die Vermutung gerechtfertigt, daß hierbei die zarteren weniger festen Zwischenteile der Membran übersehen worden sind.

Suctoria. Hier sind membranöse, gestielte oder ungestielte, stets befestigte Gehäuse sehr verbreitet. Die früher als Chitin betrachtete Substanz der Gehäuse ist wohl auch wieder ein dem Pseudochitin ähnlicher Eiweißkörper, wenngleich der Nachweis hierfür noch fehlt. Die Wandung der becherförmigen Gehäuse soll nach SAND (1901) hohl sein oder, mit anderen Worten, die Gehäuse haben eine doppelte Wand, eine äußere und eine innere. Beide sind durch einen gallerterfüllten Hohlraum getrennt, der sich auch in den Stiel, falls ein solcher vorhanden, fortsetzt; am Rande des Bechers gehen sie ineinander über. Offenbar handelt es sich bei dieser sogenannten doppelten Wand der Gehäuse

nur um eine oberflächliche Verdichtung der Gehäusesubstanz, um Grenzlamellen, wie sie z. B. auch bei den Tintinnen die Außen- und Innenfläche des Gehäuses bilden.

Ungestielte Gehäuse finden sich z. B. bei *Solenophrya*, *Urnula*, *Metacineta*; gestielte bei Arten der Gattungen *Tocophrya* und *Acineta*.

c) Aus Kalkplatten aufgebaute Gehäuse sind charakteristisch für die pelagischen Coccolithophoriden. Mehr oder weniger zahlreiche, meist ovale Kalkplatten (Coccolithen) liegen hier einer zarten Membran auf, die sie zu einem zusammenhängenden Gehäuse verbindet (Fig. 170).

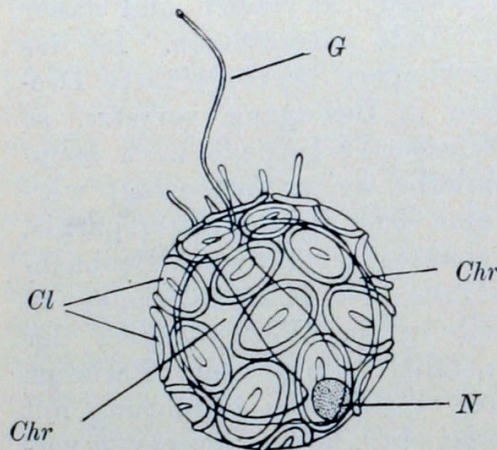


Fig. 170. *Syracosphaera pulchra* LOHM. Durchmesser 9—26 mm. Chr die beiden nierenförmigen Chromatophoren, Cl Coccolithen, G Geißel, N Kern. Nach LOHMANN 1902 aus DOFLEIN.

Die Form der Coccolithen zeigt eine sehr große Verschiedenheit. Auch können an ein und demselben Gehäuse Coccolithen verschiedener Größe und Gestalt vorkommen. Da ihr Bau aber für jede Art charakteristisch ist, bilden sie das wichtigste systematische Merkmal der Flagellatengruppe.

Bei manchen Formen bedecken die Coccolithen die Gehäusemembran ziemlich lückenlos, bei anderen lassen sie Zwischenräume frei. Bei *Deutschlandia anthos* LOHM. sind sie auf einen einfachen ringförmigen Gürtel

am Äquator des hier linsenförmigen Gehäuses beschränkt (alle anderen Coccolithophoriden haben kugelige Gehäuse) und bilden einen das Schwebvermögen wesentlich erhöhenden Schwimmring. Auch bei anderen Arten aber finden wir die Coccolithen häufig als Schwebapparate ausgebildet, die den Reibungswiderstand im Wasser erhöhen. Bei Formen mit undurchbohrten Coccolithen geschieht dies meist durch Emporwölbung des Randes derselben, wodurch der ganze Coccolith becherförmig wird, z. B. bei *Pontosphaera syracusana*, wo alle Coccolithen derart umgeformt sind, und bei *Scyphasphaera apsteini*, die in einem äquatorialen Gürtel sehr große becherförmige, im übrigen dagegen einfach scheibenförmige Coccolithen trägt. Bei Arten, deren Coccolithen in der Mitte durchbohrt sind, entsteht ein Schwebapparat dagegen durch röhrenförmige Verlängerung der Porenmündung mit oder ohne trompetenartige Erweiterung des freien Endes dieser lang-stabartig vorstehenden engen Röhre (z. B. bei *Discosphaera* und *Rhabdosphaera*). *Michaelsarsia* endlich (mit undurchbohrten Coccolithen) besitzt im Umkreise der Gehäusemündung einen Kranz von borstenartigen Mundstrahlen, deren jeder von mehreren einreihig aneinander gereihten Coccolithen aufgebaut sein kann; bei *M. splendens* z. B. wird er gebildet von zwei basalen ovalen, einem bandförmig gestreckten und endlich einem endständigen borstenförmigen Coccolithen (LOHMANN 1912).

d) Kieselgehäuse endlich finden sich bei den pelagischen Silicoflagellaten. Sie bestehen aus hohlen oder (seltener) massiven Kieselstäben, die einfach ringförmig oder zu einem verhältnismäßig weitmaschigen hutförmigen, abgestumpft pyramiden-

förmigen oder plankonvexen Gitter miteinander verbunden sind (Fig. 171).

B. Schalen. Als Grundlage für die Entstehung der bei Sarcodinen weitverbreiteten Schalen kann eine aus gallertiger Eiweißsubstanz bestehende Hülle angesehen werden, die den Weichkörper zeitlebens schützend umschließt, aber die Pseudopodien durch Oeffnungen hindurchtreten läßt, sei es, daß diese Oeffnungen ad hoc durchbrechen, sei es, daß sie in Ein- oder Mehrzahl dauernd vorgebildet sind. Beständigkeit und Durchlässigkeit für die Pseudopodien sind die charakteristischen Unterscheidungsmerkmale dieser Hüllen und der sich an sie anschließenden festeren Schalen gegenüber den vorübergehenden Cystenbildungen.

Material und Struktur der Schale. Bei einzelnen Sarcodinen ist eine derartige Hülle noch so weich und nachgiebig, daß sie Formveränderungen des Körpers mitmachen kann (z. B. *Cochliopodium*, *Pamphagus*, *Trichosphaerium*, Fig. 25). Von wirklichen Schalen sprechen wir erst dann, wenn infolge größerer Festigkeit der Hülle deren Form bei den Bewegungen des Tieres nicht verändert wird. Die Verfestigung wird hierbei auf dreierlei verschiedene Weise erzielt, 1) durch direkte Verfestigung der Eiweißsubstanz der Hülle, die chitinartige Konsistenz gewinnt, ohne Beteiligung andersartiger Substanzen (Pseudochitinschalen), 2) durch Auf- oder Einlagerung von festerem Fremdkörpermateriale (agglomerierte Schalen) oder 3) durch Beimengung von Ausscheidungsprodukten des Körpers selbst (autogene Kalk- und Kieselschalen).

1. Pseudochitinschalen (Beispiel: *Arcella*) bestehen aus einer früher als Chitin bezeichneten organischen, stickstoffhaltigen Substanz mit großen Mengen abspaltbaren Schwefels, die in künstlichem Magensaft unverdaulich und in Alkalien bei Erhitzung löslich ist, alle charakteristischen Reaktionen der Eiweißverbindungen gibt, in ihren Eigenschaften am meisten an Keratin erinnert und von AWERINZEW (1907) Pseudochitin genannt wurde. Die Festigkeit der Pseudochitinschale ist bei verschiedenen Arten sehr verschieden (verhältnismäßig sehr gering z. B. bei *Lieberkühnia*, *Chlamydophrys*) und nimmt mit dem Alter des Individuums zu (vielleicht infolge einer Polymerisation der Schalenteilchen). Außer bei Thecamöben finden sich Pseudochitinschalen auch bei einzelnen Heliozoen (die früher für kieselig gehaltene Gitterschale von *Clathrulina* besteht aus Pseudochitin).

Pseudochitin bildet aber auch die organische Grundlage aller agglomerierten, Kalk- und Kieselschalen.

2. Agglomerierte Schalen (Fremdkörperschalen, xenogene Schalen). Bei gewissen Foraminiferen (*Myxotheca*, *Allogromia*) finden sich gelegentlich auf der Außenfläche der Pseudochitinschale hinfällige

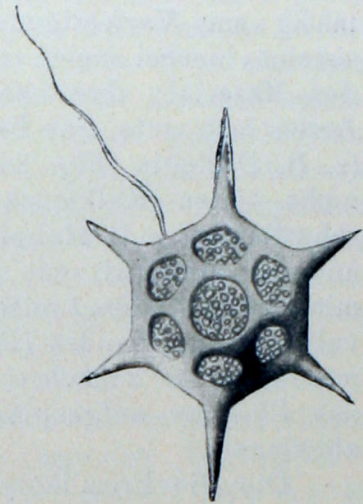


Fig. 171. **Distephanus speculum** (EHRBG.). Gegen die abgestumpfte Spitze der Pyramide gesehen. Vergr. 800:1. Nach BORBERT aus DOFLEIN.

Steinchen oder sonstige Fremdkörper als Festigungsmittel aufgeklebt, die sich zu mehr oder weniger zusammenhängenden Inkrustationen zusammenschließen können. Bei zahlreichen Thecamöben (z. B. Diffugia) und Foraminiferen (Rhabdamminiden, Ammodisciden, Nodosinelliden, Textulariden) dienen Fremdkörper verschiedener Art regelmäßig zur Verfestigung der Schale. Die Form der Fremdkörper erscheint hierbei meist regellos und zufällig, je nach dem sich darbietenden Material; ihre chemische Natur ist dagegen für die verschiedenen Arten fast stets eine bestimmte: sehr häufig werden Quarzkörner benutzt (z. B. Diffugia [Fig. 24, D und 157, A], Psammosphaera, Saccamina), nicht selten Kalkstückchen (z. B. Trochammina), Nadeln von Kieselchwämmen (z. B. Haliphysema, Fig. 263), oder Kalkschwämmen, seltener anderes Material, wie Diatomeenschalen (z. B. Lequereusia, bei Foraminiferen auffallend selten), Schlamm (z. B. Astrorhiza limicola), Körnchen vulkanischen Sandes (Psammonyx vulcanicus) u. a. Diese Fremdkörper werden stets zunächst aktiv mit Hilfe der Pseudopodien in das Innere des Plasmas aufgenommen und erst nachträglich auf der Oberfläche abgelagert.

Die die Fremdkörper verbindende Kittmasse besteht aus Pseudochitin, das meist Eisenoxydsalz enthält und infolgedessen braun gefärbt erscheint. Sie kann auch mehr oder weniger reichliche Mengen von Calciumcarbonat enthalten (besonders stark ist diese Verkalkung der Kittmasse bei solchen Foraminiferen, die auch Kalkkrümel als Fremd-



Fig. 172. **Gordiammina charoides.** Nach RHUMBLER 1911.

körper aufnehmen — Vorstufe reiner Kalkschalen) oder von dem Organismus selbst abgeschiedene Kieselplättchen („Pseud Quarze“ von PENARD, „Pseudolithen“ von RHUMBLER) bergen (Uebergang zu Kiesel-
schalen). Das Mengenverhältnis von Fremdkörpern und Kittmasse ist sehr verschieden. Bei Gordiammina z. B. (Fig. 172) enthält eine dicke Pseudochitinschicht nur eine geringe Zahl von Fremdkörpern; häufig hält der Kitt dagegen die Fremdkörper zu einem mauerwerkähnlichen Gefüge zusammen, nicht selten reicht er aber auch nicht mehr aus,

die Fremdkörper in ihrem ganzen Umfange aneinanderzukitten, sondern ist nur noch zwischen deren Berührungskanten und Ecken abgelagert. Die äußere Oberfläche der Schale ist demzufolge häufig unregelmäßig rau, kann aber selbst bei sehr reichlichen Fremdkörpermengen, wenn diese noch völlig von der Kittmasse eingeschlossen werden, ganz glatt erscheinen (z. B. Webbinella; Saccamina sphaerica, manche Arten von Reophax u. a. bauen anfangs rauhsandig, auf späteren Wachstumsstadien dagegen glattwandig). An der Innenfläche der Schale findet sich sehr häufig eine zusammenhängende Schicht der Kittmasse als Wandtapete oder „Schalenhäutchen“ (Fig. 173), seltener ist innerhalb einer Fremdkörperschale noch eine durch einen deutlichen Zwischenraum getrennte innere Gallerthülle vorhanden (Saccamina, Echinogromia).

Besonders komplizierte Fremdkörperschalen (wenn diese Benennung hier überhaupt noch statthaft ist) finden sich bei den neuerdings in die Nähe der Foraminiferen gestellten Xenophyophora. Sie bilden hier ein schwammiges, zusammenhängendes Gerüst, das die zahlreichen

schlanken Aeste des strauchartig verzweigten Weichkörpers allseitig umschließt und zu einer einheitlichen kompakten Masse verbindet (F. E. SCHULZE).

3. Autogene Hartschalen. Außer durch die Agglomeration von Fremdkörpern kann die Verfestigung der Schale auch erfolgen durch Ablagerung einer vom Organismus selbst gebildeten Hartschubstanz in der organischen (pseudochitinen) Grundsubstanz der Schale. Von einzelnen Sarcodinen werden in eine gallertige Pseudochitinhülle einzelne selbstgebildete Hartteile eingelagert: senkrecht zur Oberfläche stehende Stäbchen von Magnesiumkarbonat bei *Trichosphaerium*, Kieselemente von sehr verschiedenartiger Form (Nadeln, Stacheln, Plättchen, Kügelchen u. a.) bei Heliozoen (z. B. *Acanthocystis* (Fig. 342), *Wagnerella*, *Rhaphidiophrys*). Zu wirklichen Schalen kommt es auf diesem Wege entweder dadurch, daß vom Organismus abgeschiedene Kieselplättchen verschiedener Form sich pflastersteinartig dicht aneinander lagern (Kieselschalen mancher Thecamöben, z. B. *Euglypha*, Fig. 336, *Sphenoderia*, Fig. 157, *B. Quadrula*, Fig. 24, *A*) oder daß die Pseudochitinhülle durch Imprägnation mit kohlensaurem Kalk zu einer einheitlichen Kalkschale erhärtet (bei den meisten Foraminiferen). Der Kalk tritt hierbei in Form des Calcites oder Kalkspats auf (LISTER 1903) und enthält 0,3—12,52 Proz. Magnesiumkarbonat beigemischt (BÜTSCHLI 1908, RHUMBLER 1911).

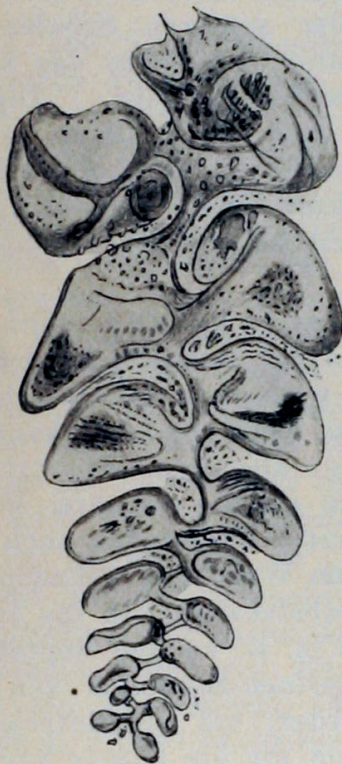


Fig. 173.

Fig. 173. ***Textularia agglutinans***, entkalkt. Die Anordnung der nur noch von der inneren Wandtapete umschlossenen Kammern tritt sehr deutlich hervor. Zwischen den Kammern sieht man noch spärliche, körnige Fremdkörper als bei der Entkalkung erhalten gebliebene Reste der Schalenwandung. Vergr. 90:1. Nach RHUMBLER 1911.

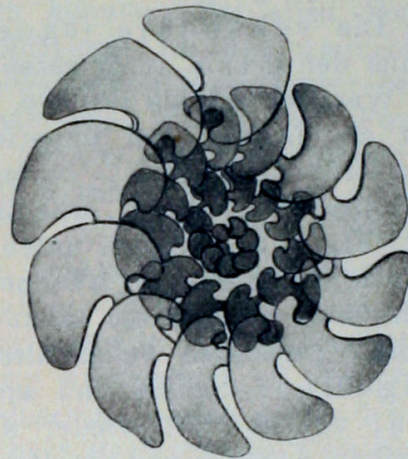


Fig. 174.

Fig. 174. ***Rotalia beccarii***. Durch Entkalkung der Schale isolierte innere Wandtapete, die bei den zuerst angelegten, also ältesten Kammern am dicksten und daher am dunkelsten ist. Vergr. 48:1. Nach RHUMBLER 1911.

Die Kalkschalen der Foraminiferen, die in warmem Wasser sehr viel mächtigere Ausbildung erfahren als im kalten (stark kalkbedürftige Arten sind stenotherm auf ersteres beschränkt), lassen in günstigen Fällen vier verschiedene Schichten erkennen, und zwar von innen nach außen:

a) Das innere Schalenhäutchen (Pseudochitintapete), dem Weichkörper direkt aufliegend und der Pseudochitintapete agglomerierter Schalen entsprechend, scheint stets ganz unverkalkt zu bleiben (Fig. 174). Bei perforaten Formen im allgemeinen stärker entwickelt, aber auch hier ein Dickenmaß von $1,3 \mu$ nicht überschreitend; kleidet auch, sich nach außen bald zu unkontrollierbarer Feinheit verjüngend, die Porenkanäle der perforaten Arten aus (vgl. nachstehend unter Oeffnungen der Schale).

b) Die primäre Kammerwand ist namentlich bei Milioliden und Orbitoliten mächtig entwickelt und stellt hier den Hauptbestandteil der ganzen Schale dar. Ihre Entstehung sei deshalb an dem Beispiel von *Peneroplis* besprochen (nach der wichtigen Arbeit von WINTER 1907). Das zur Bildung einer neuen Kammer hervorgetretene Plasma (über die Kammerung vgl. S. 188) bildet auf seiner Oberfläche eine der Kammerform entsprechende Blase, deren Kontur nach ein paar Stunden etwas verdickt erscheint und eine kaum merkliche gelbe Färbung zeigt. Diese Haut gibt das unter d besprochene äußere Schalenhäutchen ab; nach ihrer Bildung zieht sich das Plasma zurück und läßt unter ihr eine wäßrige Flüssigkeit von der Dicke der späteren Schalenwand stehen, an deren Innenfläche dann wieder ähnlich wie zuvor das äußere, auch noch das innere Schalenhäutchen abgeschieden wird. „Die angebaute Kammer erscheint zunächst farblos, nach 2–3 Tagen ist sie indessen vollständig verkalkt und hart.“ Dauernd bleibt aber die Kalkwand durchweg bis in die kleinste Mikrostruktur hinein vollständig mit einer (nach Entkalkung gallertig-homogen erscheinenden) organischen Substanz imprägniert.

c) Die sekundäre (exogene) Schalensubstanz wird von dem aus der Schale ausgetretenen Plasma auf der Außenfläche der primären Wandschicht als weitere, in der Regel weniger verkalkte Schalenschicht abgelagert. Bei imperforaten Formen meist fehlend, kann sie bei perforaten Formen, deren Poren das allseitige Hervortreten von Plasma ermöglichen, erheblich dicker sein als die primäre Wandschicht (Fig. 179 A, rechts unten) und dann unter Umständen auch eine konzentrische Schichtung erkennen lassen. Beim Wachstum gekammerter Foraminiferen kann diese sekundäre Schalensubstanz an den ins Innere der Schale gerückten Teilen älterer Kammern (z. B. an den Septen der Globigerinen-Schale und an dem Globigerinen-Einschluß von *Orbulina*, vgl. S. 193) wieder abgetragen werden, um als Material für den Aufbau neuer Kammern (bzw. bei *Orbulina* für die äußere kugelige Hülle) mit verwertet zu werden¹⁾.

d) Das äußere Schalenhäutchen entspricht in gewissem Sinne wieder der Pseudochitintapete, da es vorwiegend aus Pseudochitin besteht und relativ kalkarm ist. Es ist noch dünner und unscheinbarer als die innere Pseudochitintapete und bildet die äußere Oberfläche der Schale.

Oeffnungen der Schale. Nur bei ganz jungen Exemplaren von *Trichosphaerium* und bei wenigen Foraminiferen (Unter-

1) Daß im Interesse der Materialersparnis auch die primäre Schalensubstanz der Septen nachträglich wieder wenigstens teilweise resorbiert wird, ist sehr viel seltener (z. B. *Textularia folium*, *Globigerina ternata*; vgl. RHUMBLER 1911). Ueber Septenzerstörung zwecks Schaffung eines einheitlichen Brutraumes vgl. den Abschnitt über die Fortpflanzung.

familie *Myxothecinae* RHUMBLER), die noch keine feste Schale bilden, besitzt die nachgiebige, nur durch die bereits auf S. 183 erwähnten Stäbchen von kohlensaurem Magnesium bzw. durch gelegentlich aufgeklebte hinfällige Fremdkörper etwas verfestigte Gallert-hülle keine besonderen Mündungen, sondern kann an beliebigen oder auch an bestimmteren Stellen von den Pseudopodien durchbrochen werden. Bei allen anderen Foraminiferen und Thecamöben sind dagegen besondere Auslaßöffnungen für die Pseudopodien, die sogenannten Mündungen, konstant geworden. Meist finden sie sich in der Ein-, seltener in der Zweizahl (z. B. bei *Ditrema*, *Amphitrema*) oder in noch größerer Anzahl (z. B. bei *Peneroplis*, *Orbitolites* und *Fusulina*). Bei vielen Foraminiferen, die deswegen den Imperforata als Perforata gegenübergestellt werden, finden sich neben dieser allen Foraminiferen zukommenden Schalenmündung noch zahlreiche die Schalenwandung mehr oder weniger siebartig durchsetzende „Wandporen“. Bei Heliozoen, soweit diese überhaupt eine Schale besitzen, fehlt eine Hauptmündung und sind nur zahlreiche gleichartige Wandporen vorhanden.

1. Die Schalenmündung stellt für alle Thecamöben und imperforaten Foraminiferen die einzige Oeffnung in der Schalenwand dar, durch welche der die Schale bewohnende Weichkörper in die Umgebung mit seinen Pseudopodien hinausgreifen, dort Nahrung aufnehmen, verbrauchte Stoffe abgeben und Ortsbewegungen ausführen kann (Fig. 26). Bei perforaten Foraminiferen ermöglicht sie die allerdings nicht immer benutzte Gelegenheit zur Einfuhr größerer Nahrungskörper, die durch die engeren Poren nicht hindurchtreten können. Bei allen Foraminiferen bestimmt sie außerdem den Ausflußpunkt für die weiterbauende Sarcodien und wird somit zu einem mechanischen Hauptfaktor bei Hervorbildung der Zuwachsstücke und somit auch der ganzen Form der Schale (vgl. unten das Wachstum der Schale) und entsprechend spielt sie bei den Thecamöben und den meisten Foraminiferen auch eine wichtige Rolle bei der Fortpflanzung (vgl. den Abschnitt über diese).

Im allgemeinen ist „das Bestreben erkennbar, die Mündung nicht zu weit, sondern möglichst eng zu gestalten, offenbar um keine zu große Einfallspforte für parasitäres Gesindel zu bieten“. Nicht selten ist daher die Schale gegen die Mündung halsartig verjüngt (z. B. *Amphitrema* unter den Thecamöben, *Proteonina*, *Nodosaria*, *Lagena* unter den Foraminiferen, Fig. 30); andererseits kann man nach RHUMBLER bei Foraminiferen „als Regel — allerdings als eine solche mit Ausnahmen — beobachten, daß der Mündungsdurchmesser um so mehr hinter dem Kammerdurchmesser zurückbleibt, je stärker sich die Kammern zur Kugel aufblasen.“ Pelagische Formen haben fast durchweg auffallend weite Mündungen, was vielleicht mit ihrer Ernährung zusammenhängt (Globigerinen und Hastigerinen fressen Copepoden).

Die Form der Mündung ist im einfachsten und ursprünglichsten Falle kreisförmig, indessen finden sich bei den Foraminiferen eine Reihe verschiedenartiger Abweichungen, von denen nur die Sternform bei den Textuliniden und Nodosariden (Fig. 175) und die Hufeisenform bei den Milioliden als Beispiele angeführt seien. Die letztere wird dadurch hervorgerufen, daß in den Mündungsteil der Schale eine mehr oder weniger entwickelte Kalklamelle, die sogenannte Zunge, vorspringt, welche sich an ihrem freien Ende verdicken oder mehr oder

weniger tief spalten kann, so daß ihr Querschnitt Y-förmig oder T-förmig wird (Fig. 31—33).

Bei einzelnen Foraminiferen (z. B. Orbitolites, Peneroplis, Polystomella und Fusulina) finden wir statt einer einzigen Mündung zahlreiche in einer Reihe liegende Mündungsporen (Fig. 34 B, 180), die den Wandporen der perforaten Foraminiferen nicht vergleichbar, sondern offenbar auf die Abplattung der Orbitolites-, Peneroplis- und Polystomella-Schale bzw. auf die starke Streckung der Fusulina in der Achse ihrer spiralen Aufrollung zurückzuführen sind, indem diese Form „zunächst zu schlitzförmiger Ausgestaltung, dann zum Zerfallen der Mündung in Mündungsporen geführt hat“ (RHUMBLER 1911).

Auch einzelne Thecamöben besitzen mehrere bis zahlreiche Oeffnungen zum Durchtritt der Pseudopodien. Dies ist z. B. auch der Fall bei Trichosphaerium, dessen Hülle bei älteren Exemplaren eine wechselnde Zahl persistierender Oeffnungen besitzt, die noch deswegen von besonderem Interesse sind, weil ihr Rand wulstig verdickt ist (vgl. Fig. 25) und dieser Ringwulst durch seine Elastizität bei zurückgezogenem Pseudopod die Oeffnung in der Hülle selbsttätig verschließt.

2. Wandporen finden sich sowohl bei agglomerierenden wie kalkschaligen Foraminiferen vor und stellen zweifellos einen auf polyphyletischem Wege in verschiedenen Foraminiferengruppen erworbenen Charakter dar. Hierbei ist die ursprünglich einzige Schalenöffnung neben den später erworbenen Poren als größere Hauptöffnung erhalten geblieben. Bei gewissen Arten finden sich sogar an ein und demselben Tier

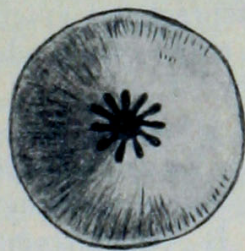


Fig. 175.

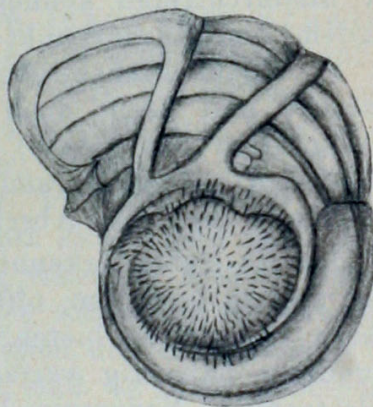


Fig. 176.

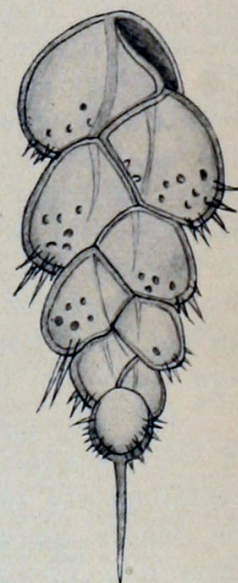


Fig. 177.

Fig. 175. **Nodosaria soluta**. Polansicht mit sternförmiger Mündung. Vergr. 23:1. Nach RHUMBLER 1911.

Fig. 176. **Peneroplis pertusus**, junges Exemplar. Man beachte die feinen kanalförmigen Poren der Embryonalkammer sowie den um die Embryonalkammer herumgelegten porenlosen Kammerhals, an den sich dann erst die drei ebenfalls porenlosen nächsten Kammern anschließen. Vergr. 338:1. Nach RHUMBLER 1911.

Fig. 177. **Bolivina hirsuta** RHUMBLER. Die drei ersten Kammern ohne, die folgenden mit spärlichen Poren. Vergr. 210:1. Nach RHUMBLER 1911.

perforate und imperforate Teile der Schale nebeneinander: so ist z. B. bei Peneroplis nur die Embryonalkammer dicht und fein perforiert, während alle übrigen Kammern porenlose Wände besitzen (Fig. 176); umgekehrt finden sich bei fast allen perforaten Polythalamien in der Wandung der Erstlingskammern auf der gleichen Fläche sehr viel weniger Poren (die außerdem häufig auch noch wesentlich kleiner sind,

z. B. bei *Pulvulina*) wie in der Wandung der später gebildeten Kammern und oft (z. B. bei *Bolivina*, Fig. 177, *Globigerina*) fehlen die Poren in der Embryonalkammer und den nächstfolgenden Erstlingskammern sogar ganz und gar.

Die Weite der Poren dürfte in der Regel ca. 2—3 μ betragen, doch kommen bei einzelnen Formen (z. B. *Orbulina*, Fig. 184) auch Poren von zwei verschiedenen Größen nebeneinander vor und in diesem Fall kann die Weite der größeren Poren bis zu 15 μ betragen.

Ihrer Form nach sind die Poren

a) „durchstichartig“, wenn sie, wie dies die Regel darstellt, als gradlinige und in ihrem ganzen Verlauf gleich weite Kanäle die Schalenwandung derart durchsetzen, daß ihre Mündungsenden auf den beiderseitigen Oberflächen der Wandung senkrecht stehen;

b) „trichterförmig“, mit erweiterter äußerer Mündung (z. B. bei vielen *Globigerinen*);

c) „birnförmig“, mit einer nach dem äußeren Mündungsende meist ziemlich abrupt eintretenden Verengung (z. B. bei *Globigerina pachyderma*);

d) selten durchsetzen die Poren die Schalenwandung nicht gradlinig, sondern mehr oder weniger gebogen, mitunter direkt hin- und hergeschlängelt (z. B. in der Embryonalkammer von *Peneroplis*).

Den Poren der perforaten Foraminiferen in gewissem Sinne vergleichbar erscheinen auch die zahlreichen Oeffnungen in den Gitterschalen einiger Heliozoen (z. B. *Clathrulina*).

Wachstum der Schale. Während bei den durch Zweiteilung sich vermehrenden Thecamöben ein nachträgliches Wachstum der bei der Teilung neugebildeten Schale nicht stattfindet (vgl. den Abschnitt über die Fortpflanzung), machen die Schalen der Foraminiferen ein lange währendes Wachstum durch, das in vier wesentlich verschiedenen Formen auftreten kann.

1. **Expansionswachstum** durch Dehnung ist nur bei weichhäutigen Pseudochitinschalen möglich (z. B. *Myxotheca*).

2. **Interkalares Wachstum** findet sich bei einigen agglomerierenden Foraminiferen von mehr oder weniger rundlicher Gestalt (z. B. *Saccamina sphaerica*). Die Vergrößerung erfolgt durch öfter wiederholtes Lossprengen von vorher bereits fest verkitteten Fremdkörpern bei gleichzeitigem Zwischenschieben von neuen sofort durch die pseudochitinige Mörtelmasse eingekitteten Fremdkörpern.

3. **Polares (appositionelles) Wachstum** ist bei Foraminiferen mit röhrenförmigen Schalen verbreitet. Durch Anlagerung neuer Schalenmassen an der Mündung wird die von der Schale gebildete Röhre gleichmäßig verlängert.

Nicht selten wird mit zunehmender Länge der Schale auch der Durchmesser der neugebildeten Schalenteile etwas größer (z. B. *Psammonyx vulcanicus*).

Sind wie bei *Rhabdammina abyssorum* drei oder mehr Mündungen statt einer vorhanden, so entstehen durch polares Wachstum sternförmige Schalen mit drei bzw. entsprechend mehr gleichartigen Armen.

Häufig ist mit polarem Wachstum eine spiralige Einrollung der Schale verbunden, die dann meist so eng ist, daß jeder neue Umgang sich dem vorhergehenden direkt anlegt (Erhöhung der Bruchfestigkeit

gegenüber der gerade gestreckten, stabförmigen Schale). Beispiel: *Ammodiscus* (Fig. 27), *Cornuspira*, *Gordiammina* (Fig. 172).

4. Periodisches (cellares) Wachstum führt zur Bildung gekammerter Schalen, wie sie für alle höheren Foraminiferen charakteristisch sind (*Polythalamia* im Gegensatz zu den ungekammerten *Monothalamia*). Schon bei einzelnen primitiven Formen (z. B. *Rhabdammina discreta*) führt eine gewisse unregelmäßige Periodizität des polaren Wachstums zur Bildung noch wenig unterschiedener Wachstumssegmente und in ähnlicher Weise entstehen bei *Patellina* die ebenfalls noch ziemlich unregelmäßigen taschenförmigen Ausbuchtungen des Lumens der spiralgewundenen röhrenförmigen Schale (Fig. 178). Bei

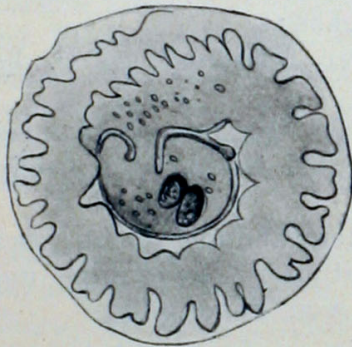


Fig. 178. ***Patellina corrugata***. Vergr. 257:1.
Nach RHUMBLER 1911.

den *Polythalamia* führt regelmäßige Periodizität des Wachstums zur Bildung regelmäßiger, durch Zwischenwände („Septen“) abgesetzter Kammern. In frühester Jugend besteht die Schale der *Polythalamia* nur aus der einkammerigen, meist kugeligen „Embryonalkammer“. Wenn der Zellleib wächst, tritt ein Teil des Plasmas durch die Mündung der Embryonalkammer hervor, breitet sich auf der Außenfläche dieser Kammer etwas aus und bildet durch Abscheidung neuer Schalensubstanz an seiner freien Oberfläche eine zweite, an die erste angefügte Kammer. Die Innenräume beider Kammern bleiben durch die Mündung der ersten Kammer miteinander in offener Kommunikation und sind erfüllt von einem einheitlichen, durch das die beiden Kammern trennende Septum (die der Mündung der Embryonalkammer benachbarten Teile von deren Wandung) nur eingeschnürten Plasmakörper. Wiederholung dieses Vorganges nach einer zeitweisen Wachstumspause führt zur Anlage einer dritten usw. Kammer und somit zur Entstehung vielkammeriger Schalen.

Gekammerte Schalen finden sich ebenso wie unperiodisches polares Wachstum sowohl unter sandschaligen wie kalkschaligen, sowohl unter imperforaten wie perforaten Foraminiferen. (Eine noch recht primitive gekammerte Fremdkörperschale ist in Fig. 28 abgebildet.) Die Wandporen spielen bei der Kammerbildung keine Rolle, da sie für das hierzu erforderliche Ausströmen des Plasmas zu eng sind (eine Ausnahme hiervon siehe auf S. 191 unter *Acervaltypus*).

Das Hervortreten des Plasmas zur Kammerbildung ist mit einer unter Wasseraufnahme erfolgenden Aufblähung verbunden und jede neugebildete Kammer ist in der Regel etwas größer als die vorhergehende. Diese Größenzunahme ist bei zunehmender Kammerzahl eine auffallend regelmäßige und folgt einer geometrischen Progression (näheres bei RHUMBLER 1911, demzufolge „die ganze Schalengestalt, qualitativ und quantitativ auf Grund von verhältnismäßig wenigen gegebenen Daten rechnerisch und konstruktiv eindeutig bestimmt werden kann“.)

Form und Lage der neugebildeten Kammern sind außer von der Lage der Mündung der vorausgehenden Kammer abhängig von der Oberflächenspannung der ausgetretenen Plasmamasse und diese ist unter sonst gleichen Bedingungen bei jedem neuen Hervorquellen immer wieder

dieselbe wie bei dem vorhergegangenen. Infolgedessen sind stets die homologen Winkel sämtlicher Kammern einer Schale einander gleich. Bezüglich aller Einzelheiten über die Oberflächenspannung und ihre entwickelungsmechanische Bedeutung muß jedoch auf RHUMBLERS Bearbeitung der Planktonforaminiferen verwiesen werden. Hier können nur kurz die Haupttypen angeführt werden, denen die sehr mannigfaltige Anordnung der Kammern bei verschiedenen Foraminiferen folgt:

1. **Nodosaltypus.** Die Mündungsachse, d. h. diejenige Linie, die man sich von der ersten bis zur letzten Kammer durch die aufeinanderfolgenden Mündungen hindurchgelegt denkt, ist eine gerade oder nur sehr wenig gebogene Linie (bei Nodosinelliden und Nodosarinen [Fig. 28—30]). — Bei den Lageninen, die ebenfalls nach diesem Typus neue Kammern bilden, lösen sich diese sofort nach ihrer Entstehung als selbständige monothalame Schalen ab (ausnahmsweises Entstehen einkammeriger Formen aus mehrkammerigen, während sonst das Umgekehrte die Regel ist, vgl. Fig. 30).

2. **Spiraltypus.** Die Mündungsachse ist spiral eingerollt. Weit- aus der verbreitetste Typus, da bei ihm die Bruchfestigkeit der Schale eine besonders große ist. Je nachdem ob die spiralige Einrollung in einer Ebene erfolgt oder die Mündungsachse nach Art einer Wendeltreppe oder Schraube emporsteigt, unterscheidet man einen Planospiral- und einen Turbospiraltypus; je nachdem ferner ob die äußeren Umgänge der Spirale die Kammern der inneren Umgänge auf den Flächen sichtbar bleiben lassen oder sie durch Uebergreifen bis ganz oder nahe zum Zentrum verdecken, unterscheidet man evolute Schalen (Fig. 37) und involute Schalen (Fig. 38). Meist liegt die Schalenmündung bei dem Spiraltypus in einer Hohlkehle, die einerseits von dem vorausgehenden Umgang der Schale, andererseits von der bei weitergehender Kammerbildung zum Septum werdenden „Mündungswand“ begrenzt wird (Nautiloidtypus v. STAFF und WEDEKINDS, bei Trochamminiden und Rotaliarien, vgl. Fig. 35 u. 174); seltener verläuft die Mündungsachse dicht am peripheren Schalenteil bei gleichzeitiger sehr starker Größenprogression der Kammern (*Cristellaria*-*Robulina*-Typus v. STAFF und WEDEKINDS; bei den spiral eingerollten Nodosariden, Fig. 179). Durch sehr starke Verlängerung der Achse der Spirale bei involuter Aufrollung entstehen die charakteristischen spindelförmigen Schalen der Fusulinen (Fig. 36) und Alveolinen.

Wenn die zur Bildung einer neuen Kammer vorquellende Sarcodien schon sehr frühzeitig auf ihrer Oberfläche gelatiniert und in nicht mehr flüssigem Zustande bei ihrer Anschmiegung an ältere Schalenteile auf

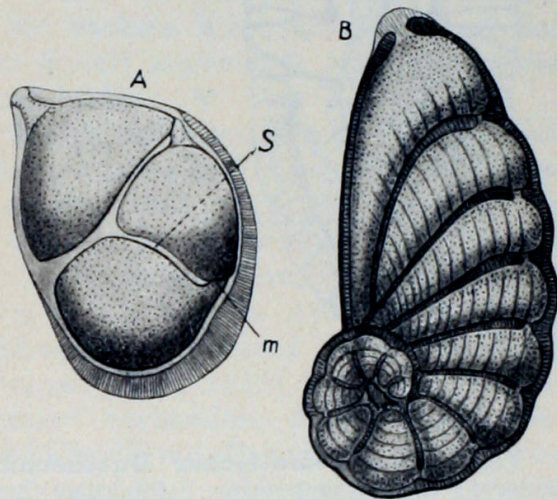


Fig. 179. **Cristellaria** spec. **A** Junges Exemplar. **B** Sehr viel älteres Exemplar bei wesentlich schwächerer Vergrößerung. *m* Zur Septenöffnung gewordene Mündung der Embryonalkammer, *s* Septum zwischen Embryonal- und zweiter Kammer. Nach RHUMBLER 1911.

Hindernisse oder für sie nicht ausfüllbare Riefen oder Furchensysteme stößt, kommt es zu Lücken zwischen der ursprünglichen Wand der älteren Schalenteile und der an der Oberfläche der vorquellenden Sarcodeneugebildeten Schalensubstanz. Bei involuter Aufrollung können diese Lücken sich zu einem komplizierten Kanalsystem zusammenschließen, das innerhalb der Kammersepten und zwischen diesen Septen in der Nabelgegend der Schale verläuft und seine höchste Ausbildung bei *Polystomella* und *Nummulites* findet. Fig. 180 zeigt seine typischen Teile. Im übrigen muß bezüglich der Kanalsysteme in der Foraminiferenschale auf RHUMBLER (1911) und die Spezialliteratur verwiesen werden.

3. Der zyklische Schalentypus (für die Orbitolitidae charakteristisch) ist durch kreisförmige Ausgestaltung seiner späteren Kammern und die Unterabteilung derselben in zahlreiche kleine Sekundärkammerchen gekennzeichnet. Er ist die Folge des Ersatzes einer einzigen Schalenmündung durch zahlreiche Mündungsporen (vgl. S. 186). Während bei anderen Foraminiferen mit mehreren Mündungsporen (z. B. *Peneroplis*, *Polystomella*) die aus den einzelnen Öffnungen ausgetretenen Plasmamassen vor der Abscheidung von Schalensubstanz

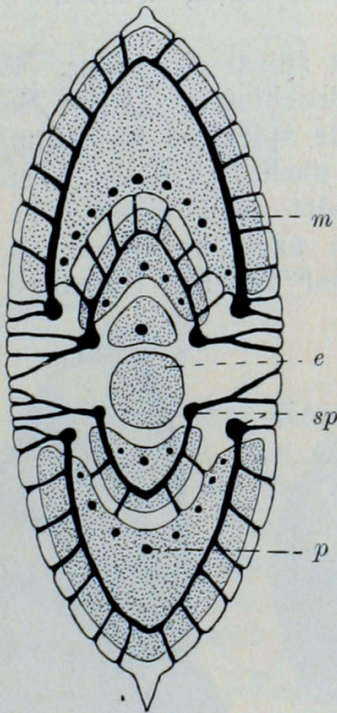


Fig. 180.

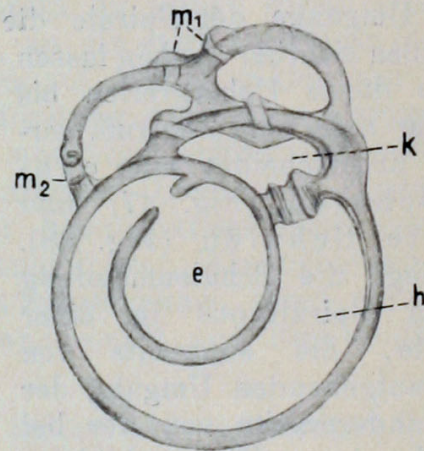


Fig. 181.

Fig. 180. **Schematischer Durchschnitt durch *Polystomella crispa*** zur Erläuterung des Kanalsystems. Punktiert der vom Plasma erfüllte Innenraum der Kammern, weiß die Schalensubstanz, schwarz die Öffnungen, die die Septen quer durchsetzen, den alten Mündungsporen der nächst vorhergehenden Kammer entsprechend, sowie das innerhalb der Septen verlaufende Kanalsystem. Zu dessen Darstellung sind die gewölbten Septen als eben und alsdann der Schnitt als in der Fläche dieser Septen geführt gedacht. Die Poren der Kammerwandung sind nicht dargestellt. *e* Embryonalkammer, *m* in jedem Septum parallel der äußeren Schalenoberfläche verlaufender Meridionalkanal, von dem aus kleine Kanäle zwischen rückläufigen Fortsätzen der folgenden Kammer zur Oberfläche ziehen, *p* Öffnungen in den Septen, durch die die einzelnen Kammern miteinander kommunizieren, *sp* Spiralkanal (jederseits einer), der parallel dem Rande der spiral aufgerollten Kammern verläuft und von dem außer den Meridionalkanälen auch noch direkt nach außen mündende Kanäle ausgehen. Nach LISTER 1903.

Fig. 181. ***Orbitolites duplex*, junges Exemplar.** *e* Embryonalkammer, *h* Hals derselben, *k* zweite Kammer mit zwei Mündungsporen, vor deren jeder eine neue Kammer gebildet ist. Von diesen jüngsten Kammern besitzt die eine wiederum zwei Mündungsporen; beim weiteren Wachstum werden aber zunächst wieder nur zwei neue Kammern gleichzeitig gebildet werden, da die beiden mit *m*₁ bezeichneten Mündungsporen so dicht der gleichen Hohlkehle anliegen, daß das aus ihnen vorquellende Plasma zusammenfließen muß und nur eine Kammer bilden kann. Vergr. 210 : 1. Nach RHUMBLER 1911 (vgl. auch Fig. 187).

miteinander verschmelzen, um dann zusammen eine einheitliche Kammer zu bilden, tritt bei den Orbitolitiden eine solche Verschmelzung der einzelnen hervorgequollenen Plasmamengen nur noch in sehr geringem Grade ein. Infolgedessen wird eine allmählich immer mehr zunehmende Zahl von kleinen Kammern gleichzeitig gebildet (Fig. 181), die schließlich zum Ersatz der ursprünglichen Spiralanordnung der Erstlingskammern durch die kreisförmige Anordnung zahlreicher gleichzeitig gebildeter Kämmerchen führt (Fig. 34 u. 187).

4. Der *Acervaltypus*, bei dem die Kammern mit Ausnahme der dem Spiraltypus folgenden Erstlingskammern ohne bestimmte Ordnung aneinandergereiht sind, so daß eine konstante Achse an der irregulären Schale überhaupt nicht zu unterscheiden ist, kommt dadurch zustande, daß das Plasma aus mehreren gleichgroßen Oeffnungen nach verschiedenen Seiten gleich gut ausfließen kann, sei es daß durch eine übermäßige Vergrößerung der Wandporen die Beibehaltung einer besonderen Schalenmündung in den späteren Kammern überflüssig wird und die Wandporen selbst zum Austritt des kammerbauenden Plasmas benutzt werden (bei den *Tinoporiden*), sei es, daß bei den späteren Kammern neben der ursprünglichen Kammermündung neue akzessorische Mündungen auftreten, welche die gleiche Größe wie die ursprüngliche Kammermündung annehmen (bei *Globigerinen*).

5. Der *Textularidentypus* (für die *Textulariden* charakteristisch) besitzt eine äußerlich 2- oder 3-reihig erscheinende „zopfförmige“ Anordnung der Kammern (Fig. 173 und 177) und kommt dadurch zustande, daß jede Mündungswand mit der Wand der vorhergehenden Kammer eine Hohlkehle bildet, in der sich die nächste Kammer anlegt und daß alle Mündungen der Medianachse der Schale zugewandt sind, derart daß die Mündungsachse eine Zickzacklinie bildet.

Verschiedenheiten in der Anordnung der Kammern am Primordial- und am Wachstumsende, wie sie der *cyklische* und *Acervaltypus* infolge von Vermehrung der Mündungen zeigen, sind auch ohne eine solche Vermehrung nicht selten und in diesem Falle spricht man von *biformen* Schalen. So gibt es z. B. *bischofstabförmige* Arten (*Ophthalmidien*, *Haplophragmium* u. a.), die am Anfang spiral aufgerollt sind, später aber geradegestreckt, *nodosaroid* weiter wachsen. Diese *Biformität* ist nun nach RHUMBLER (1897, 1911) mit einer „phylogenetisch abfallenden Schalenontogenie“ verbunden, d. h. es gilt ausnahmslos die Regel, daß das Primordialende mit Bezug auf die Art der Aufwindung und die Kammeranordnung eine phylogenetisch höhere (festere) Ausbildung aufweise als das Wachstumsende, also umgekehrt, wie es sonst bei wachsenden und sich entwickelnden Tieren zu sein pflegt. Die phylogenetisch höhere Entwicklungsstufe ist in solchen Fällen auch nachweisbar paläontologisch später erreicht. Als Beispiel hierfür sei auf die mikrosphärische Generation (über diese vgl. im übrigen unten den Abschnitt über Generationswechsel) von *Biloculina* verwiesen, die ihren Bau sogar zweimal ändert, also „*triform*“ ist. Wenn sie „am Primordialende ihre Erstlingskammer mit fünf Kammern, dann im weiteren Verlauf der Schalenbildung mit drei Kammern und schließlich am Wachstumsende der Schale die voraufgegangenen Kammern bloß noch mit zwei Endkammern umhüllt, so kopiert sie in dieser Konstruktionsfolge nacheinander die Baupläne von *Quinqueloculina*, dann von *Triloculina*, um dann erst durch zweikammerige Einhüllung den eigentlichen *Biloculina*-Charakter zur Ausbildung zu bringen

(Fig. 182)“. Die Reihenfolge des paläontologischen Auftretens ist nun die umgekehrte (*Biloculina* in der Trias, *Triloculina* im Jura und *Quinqueloculina* erst in der Kreide) und bedeutet einen stetigen Fortschritt durch Festigkeitssteigerung, ähnlich wie in dem

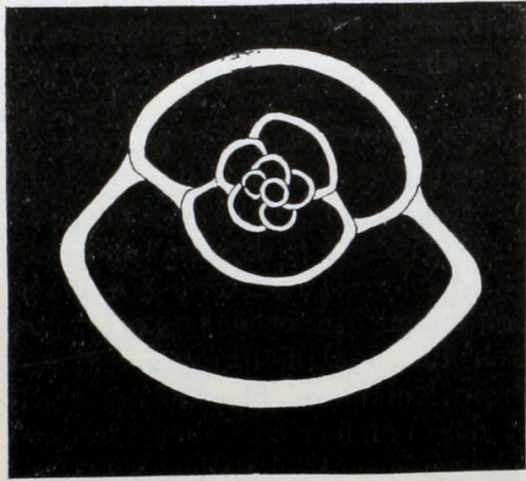


Fig. 182. *Biloculina* spec. Querschnitt durch die Schale eines mikrosphärischen Individuums. Nach SCHLUMBERGER.

anderen oben angeführten Beispiel von Biformität die spirale Aufrollung eine wesentliche Festigkeitssteigerung bedingt gegenüber der einseitig geradegestreckten Kammeranordnung.

Die Festigkeitsauslese spielt überhaupt eine außerordentlich große Rolle bei der phylogenetischen Weiterentwicklung der Foraminiferenschale und mußte sich zuerst am Primordialende äußern, weil an diesem aus inneren Gründen noch nicht dieselbe Wanddicke erreicht werden konnte wie an den späteren Kammern. Sie zeigt sich außer in der Kammeranordnung auch darin, daß aus Formen mit glatter schlichter Wand sich andere entwickelt haben,

deren Kammerwände außen durch mannigfaltige Schalendekorationen (besonders häufig Leisten, die meist im Vergleich zur Mündungsachse längs [Fig. 176, 179], seltener quer oder spiralig verlaufen) lokale Verdickungen erfahren haben. Auch diese Festigkeitsdekorationen treten zuerst am Primordialende auf und sind häufig ganz auf dieses beschränkt.

Durch starke Verlängerung ursprünglicher Festigungsdekorationen sind dann auch die Schwebedekorationen pelagischer Foraminiferen (*Globigerina*, *Hastigerina*, *Orbulina*) entstanden, die

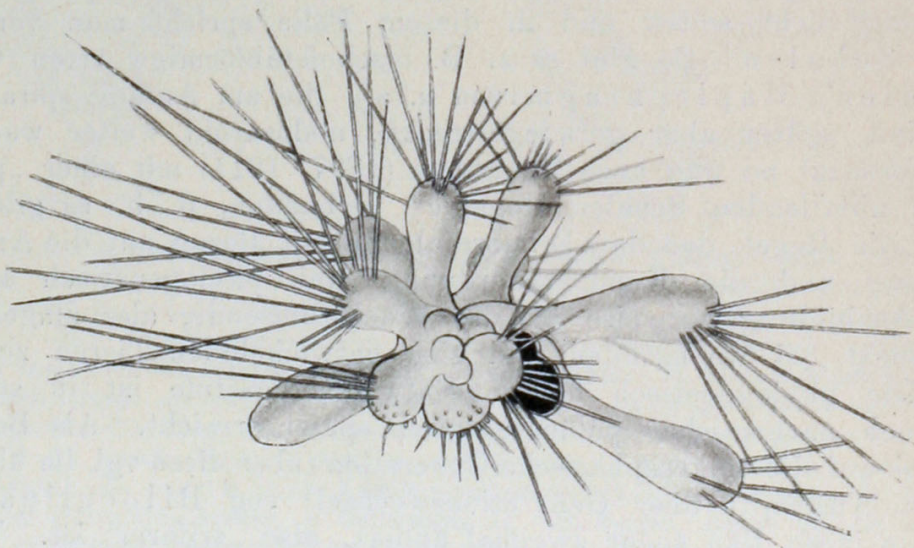


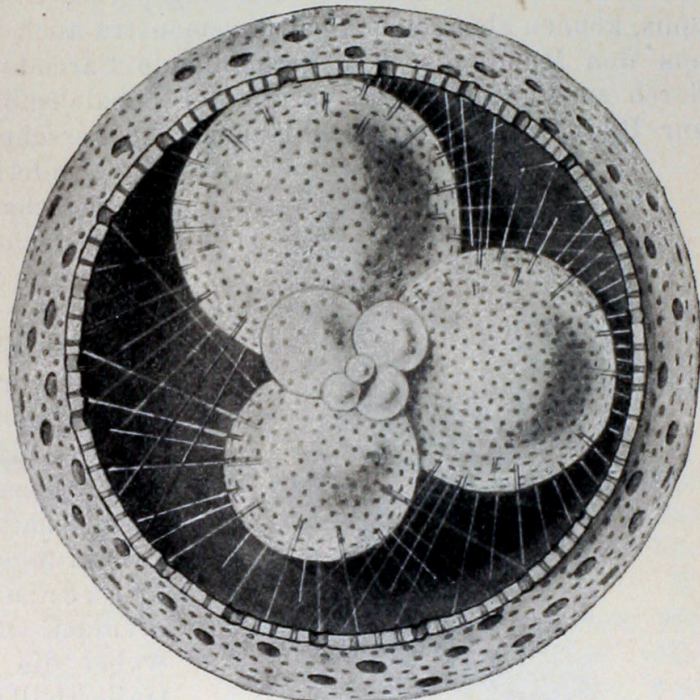
Fig. 183. *Hastigerina digitata* var. *digitifera*. Vergr. 10:1. Nach RHUMBLER 1911.

in Form mehr oder weniger langer borstenförmiger Stacheln entwickelt sind (Fig. 183) und in Maximalfällen die 5-fache Länge des Durchmessers der zugehörigen Kammer erreichen können. Diese Stacheln sind besonders reich an organischer Substanz, die ihre relativ große

Biegungselastizität bedingt, und stehen stets senkrecht auf der zugehörigen Kammerwand. Bei der Bildung neuer Kammern fallen bei *Globigerina* diejenigen Stacheln der Resorption anheim, die ausstrahlen von Schalenteilen, die von der neuen Kammer überdeckt werden, und die deshalb von dem die neue Kammer bildenden Plasma ganz oder teilweise umflossen werden. Bei *Hastigerina digitata* bleiben sie dagegen zum Teil erhalten und dienen zur Stützung der die Schwebfähigkeit noch weiter erhöhenden, weit ausgreifenden „Fingerkammern“ (Fig. 183).

Im Anschluß hieran verdient auch die eigenartige Entwicklung von *Orbulina* Erwähnung. Diese hat sich offenbar aus *Globigerina*-ähnlichen Stammformen entwickelt und ist heute noch die größte Zeit ihres Lebens hindurch völlig nach Art der *Globigerinen* gebaut (dünnchalige, früher zu *Globigerina bulloides* d'ORBIGNY gerechnete Formen). Wenn sie jedoch eine gewisse Größe erreicht und 12–15 Kammern gebildet hat, umgibt sie diese mit einer einheitlichen kugeligen Endkammer (Fig. 184). Die inneren *globigerinen*-ähnlichen Kammern sind, wenigstens anfänglich, an der Innenfläche der Endkammer durch frühere Schwebstacheln befestigt, können aber früher oder später aufgelöst werden; bei gewissen Arten erhalten sie sich sehr lange oder gar dauernd. Es kann auch vorkommen, daß ein Teil der Wandung einer älteren Kammer direkt in die Wandung der kugeligen Endkammer als ein Stück derselben aufgenommen wird. Die kugelige Riesenkammer von *Orbulina* ist nur als ein extremer Fall der auch sonst bei Foraminiferen als Anpassung an das pelagische Leben auftretenden plötzlichen Vergrößerung und Aufblähung der Endkammern aufzufassen.

Fig. 184. **Orbulina.** Schematische Originalfigur von LANG. Aus der kugeligen Endkammer mit ihren zwei Arten von Poren ist ein schalenförmiges Stück herausgeschnitten worden, so daß man im Innern die älteren, *globigerinen*-artig angeordneten Kammern sieht, deren Stacheln sich an der Innenfläche der Endkammer befestigen. Die äußeren Schwebestacheln der Endkammer sind nicht dargestellt.



Von besonderem Interesse für die morphogenetische Gestaltung der Foraminiferenschale sind auch deren Mißbildungen.

Auch kleine Bruchstücke von Foraminiferen vermögen, sofern sie nur noch Kernmaterial besitzen, die Schale wieder zu regenerieren, indem die an der Verletzungsstelle vorquellende Sarcoderm auf ihrer Oberfläche neue Schalensubstanz erzeugt. Maßgebend für die Form der

Regenerate ist kein dem Individuum inhärenter Bauplan, sondern die Gestalt der Bruchfläche, die Austrittsstelle der auf dieser Bruchfläche vorfließenden und das Regenerat erzeugenden Sarcode, sowie deren Oberflächenspannung, die bei minimaler Fläche zur Bildung konstanter Randwinkel führt (vgl. S. 2 u. 189) und hierbei ganz ungewohnte Kammerformen veranlassen kann (Einzelheiten siehe bei RHUMBLER 1903).

Auf solche Regenerationen sind auch wohl zum Teil die Spaltungsmonstra zurückzuführen, bei denen infolge von Störungen während des Wachstums der Schale durch Spaltung der Kammerreihe eines ursprünglich einheitlichen gewöhnlichen Exemplares eine Doppelbildung

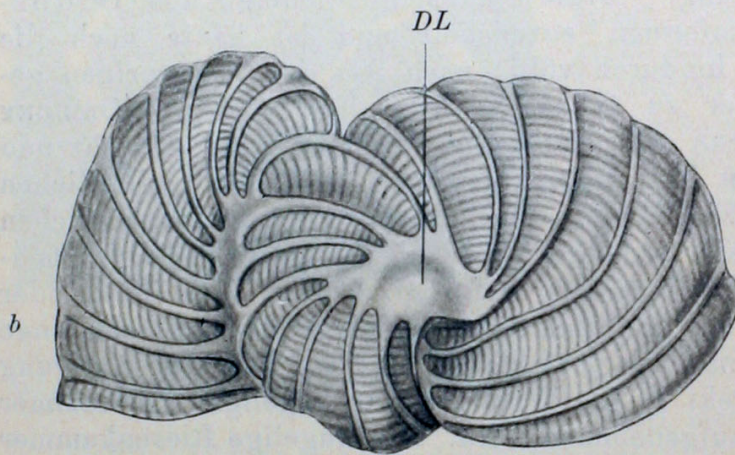
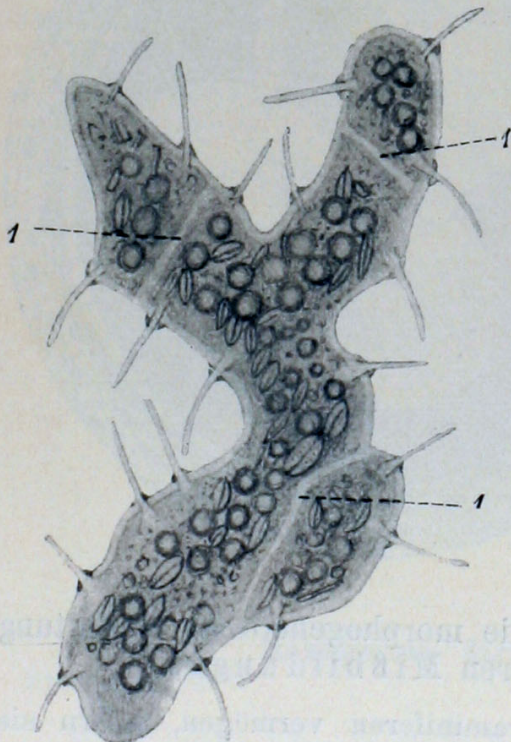


Fig. 185. **Peneroplis pertusus** (FORSK.). Spaltungsmonstrum, das in die beiden, in verschiedenem Sinne spiralig aufgerollten Spalteile *a* und *b* auseinanderläuft. *DL* Deckklappen, der die Embryonalkammer zugeeckt hat. Vergr. 63:1. (Durchmesser 1,35 mm.) Nach RHUMBLER 1911.

entsteht. Bei Formen mit Mündungsporen, wie Polystomella und Peneroplis, können aber solche Spaltungsmonstra auch dadurch entstehen, daß die aus den Mündungsporen vorquellende Sarcode verhindert wurde (etwa durch zu frühzeitiges Erstarren der Schalensubstanz), in normaler Weise zur Bildung einer einzigen Kammer zu verschmelzen (Fig. 185).



Andere Doppelbildungen (echte Doppelschalen) entstehen dagegen durch nachträgliche Verwachsung mehrerer ursprünglich getrennter Individuen. Eine solche kommt auch bei nackten Sarcodinen vor, ist bei diesen aber meist nur von vorübergehender Dauer, z. B. bei den Heliozoen, deren mehrere unter Umständen zu einer „Freßgesellschaft“ verschmelzen (vgl. unter Ernährungsorganellen). Bei Trichosphaerium können bis zu 10 Individuen miteinander verschmelzen, wobei die die Einzeltiere trennende Gallerthülle allmählich verschwindet

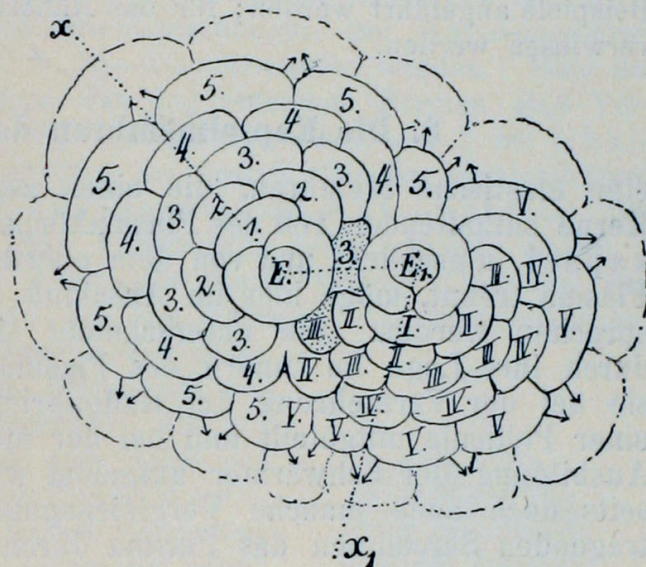
Fig. 186. **Trichosphaerium sieboldi** SCHN. Mehrere miteinander verschmolzene Einzeltiere, zwischen denen an drei Stellen (bei 1) die sie trennende Hülle noch erhalten ist. Nach SCHAUDINN 1899.

(Fig. 186), dagegen nicht nur die Kerne selbständig bleiben, sondern auch das Plasma der einzelnen Individuen räumlich gesondert bleibt und

nicht etwa durch Strömungen durcheinander gerührt wird. (Da in einem Individuum stets alle Kerne im gleichen Stadium sind, so kann man durch Auffindung verschiedener Stadien die Grenze zwischen zwei Individuen auch innerhalb des einheitlich erscheinenden Plasmas recht scharf ziehen, besonders leicht, wenn eines der verschmolzenen Einzeltiere in Teilung begriffene, sein Nachbar dagegen ruhende Kerne zeigt.) Das weitere Schicksal und damit auch die physiologische Bedeutung dieser meist als „Plastogamie“ bezeichneten Verschmelzungsprodukte von Trichosphaerium ist noch unbekannt.

Wenn mehrere beschalte Foraminiferen miteinander verschmelzen, so muß ihre Verbindung infolge der Verwachsung der festen Schalen eine dauernde werden. Besonders häufig ist dies bei Orbitolites, der daher auch das Material geliefert hat für eine eingehende Analyse der Doppel- und Mehrfachschalenbildung durch RHUMBLER (1902). Verschmelzen bereits die Embryonalkammern oder sehr jugendliche Exemplare, so baut das Verschmelzungsprodukt die späteren „postjugalen“ Kammern nach einem gemeinsamen Bauplan weiter (univalente Doppelschalen, Fig. 187). Derartige Verschmelzungen können spontan ent-

Fig. 187. **Orbitolites duplex**, eine univalente, makrosphärische Doppelschale in ihrer Kammerfolge dargestellt. Die Kämmerchen der gleichen Ordnung sind mit gleichen Zahlen bezeichnet, die zugleich die Reihenfolge ihrer Bildung angeben. Die arabischen Zahlen beziehen sich auf den Verschmelzling E , die römischen auf den Verschmelzling E_1 . Die Kämmerchen 3 und III verlegen für die späteren die zwischen den beiden Embryonalkammern E und E_1 befindliche Stauenge. Die Pfeile der Schlußkammern zeigen, daß die Sarcod aus ihnen normal ausfließen kann, ohne daß es zu besonderen Stauwirkungen kommen kann. Ex und E_1x_1 die beiden (durch die Mündungen der Embryonalkammern gelegten) Erstlingsachsen, die mit der Linie EE_1 einen Winkel von 230 bzw. 70° bilden. Schematisch. Aus RHUMBLER 1902.



stehen, da ganz jugendliche Individuen, namentlich wenn sie demselben Muttertier entstammen, ihre Pseudopodien sehr leicht zusammenfließen lassen. Sie kommen daher nicht nur bei festsitzenden Formen, wie Orbitolites, sondern auch bei sehr verschiedenen freilebenden vor (z. B. Globigerina, Fusulina u. a.). Bei älteren Exemplaren fehlt dagegen die Neigung der Pseudopodien zu einem derartigen Zusammenfließen vollständig (vgl. JENSEN 1895). Deren Verschmelzung kann daher nur zwangsweise erfolgen bei festsitzenden Foraminiferen, die sich in der Jugend so dicht beieinander festgesetzt haben, daß im Laufe des Wachstums Teile ihrer vorquellenden Sarcod gegeneinander gepreßt werden. Die so entstehenden Doppel- (bzw. Mehrfach-)Schalen sind bivalent (bzw. plurivalent), indem auch nach der Verschmelzung jeder Verschmelzling seine späteren Kammern nach eigenem Bauplan weiterbaut, so daß die Doppel- (bzw. Mehrfach-)Schale aus mehreren Einzelschalen zusammengesetzt erscheint, die nur an bestimmten Stellen verwachsen sind (bisher

außer bei Orbitolites nur noch bei der ebenfalls feststehenden Discorbina beobachtet).

Die Kerne der einzelnen Verschmelzlinge bleiben in diesen Doppel- und Mehrfachschaalen der Foraminiferen jedenfalls ebenso unabhängig voneinander und selbständig, wie bei der vorstehend zum Vergleich besprochenen Verschmelzung von Trichosphaerium.

Es erschien bis vor kurzem fast aussichtslos, den Versuch zu machen, die physiologische und biologische Bedeutung der verschiedenartigen, so mannigfaltigen Schalenformen, der Art der Anordnung und Verbindung der Kammern, der Beschaffenheit ihrer Wandungen im allgemeinen und der Skulptur derselben im besonderen zu ergründen. Um so wichtiger ist deshalb der von RHUMBLER (1897, 1911) erbrachte Nachweis, „daß alle während der Stammesgeschichte [an der Schale der Foraminiferen] auftauchenden Neubildungen durchaus zweckmäßige sind, einerlei ob sie am Primordial- oder am Wachstumsende oder ob sie an einer anderen Stelle der Schale auftreten.“ Vorstehend konnten hierfür nur einige Beispiele angeführt werden; für das Nähere muß auf die Originalarbeiten verwiesen werden.

3. Die Kapselmembran der Radiolarien,

eine elastische Membran, die einen zentralen, den Kern oder die Kerne enthaltenden Teil des Plasmakörpers, die sogenannte Zentralkapsel, umschließt und von dem oberflächlicheren „extrakapsulären“ Plasma trennt, möge hier im Anschluß an die Sarcodinienschalen besprochen werden. Sie unterscheidet sich von letzteren wesentlich durch ihre Lage im Innern des Plasmakörpers, sowie dadurch, daß sie bei der Vermehrung der Radiolarien durch Zweiteilung ähnlich einer Pellicula mitgeteilt und bei der multiplen Vermehrung vor der Ausbildung der Schwärmer aufgelöst wird; sie bietet aber andererseits doch auch manche Vergleichspunkte. Wie bei den schalentragenden Sarcodinen das Plasma durch Oeffnungen der Schale hervortreten und zeitweise sogar die ganze äußere Oberfläche der Schale mit einem dünnen Plasmamantel umhüllen kann, so steht auch bei den Radiolarien das Plasma der Zentralkapsel mit dem extrakapsulären Plasma durch Oeffnungen der Kapselmembran hindurch in Verbindung. Die die Kapselmembran bildende Substanz wird als Pseudochitin aufgefaßt, ähnlich der organischen Substanz der Sarcodinienschalen. Die Zentralkapsel enthält die lebenswichtigsten Teile des ganzen Radiolarienkörpers: Thalassicollen, die ihres extrakapsulären Plasmas beraubt sind, vermögen dieses in wenigen Tagen zu regenerieren und sich damit wieder zum vollständigen Tiere auszubilden, während das von der Zentralkapsel abgelöste Extracapsularium zerfällt (SCHNEIDER 1869).

Dieser Versuch zeigt auch, daß der Kapselmembran eine schützende Funktion zukommt. Immerhin muß diese bei den meisten Radiolarien gegenüber der Schutzwirkung des die Zentralkapsel umgebenden Kiesel skelettes zurücktreten. Bei den Astrocapsiden wird die Zentralkapselmembran zeitweise sekundär durch kleine, später verschmelzende Plättchen aus Strontiumsulfat überdeckt und „versteinert“ (POPOFSKY 1908).

Die die Kapselmembran durchsetzenden Oeffnungen sind in den verschiedenen Ordnungen verschieden angeordnet und gestaltet.

Bei Spumellarien und Acantharien sind in der Kapselmembran zahlreiche feine Poren vorhanden, die untereinander gleich sind und in gewissem Sinne den Schalenporen der perforaten Foraminiferen verglichen werden können. Bei den Spumellarien sind diese Poren gleichmäßig auf die ganze Fläche der Membran verteilt, bei den Acantharien finden sie sich dagegen meist in gruppenweiser Anordnung. So allgemeingültig, wie im Anschluß an HAECKEL gewöhnlich angenommen wird, scheint dieser Unterschied freilich nicht zu sein, da POPOFSKY (1904) bei der Acantharie *Phyllostaurus quadrifolius* eine völlig gleichmäßige Verteilung der Poren über die ganze Membran fand.

Bei den Nassellarien und Tripylarien fehlen dagegen solche feinen Poren. Statt ihrer findet sich, wiederum in gewissem Sinne an die Thecamöben und die imperforaten Foraminiferen erinnernd, eine große Hauptöffnung, die freilich in beiden Ordnungen verschieden gebaut ist und zu der bei den Tripylarien noch zwei kleinere Nebenöffnungen hinzutreten. Bezüglich der Einzelheiten des Baues dieser als Astropyle und Parapylen unterschiedenen Durchbrechungen der Kapselmembran bei den Tripylarien kann auf S. 75—76 verwiesen werden. Hier sei nur noch ergänzend hinzugefügt, daß bei einzelnen Formen eine Vermehrung der Zahl der Astropylen stattgefunden hat, auf 2 bei *Challengeria naresi*, auf eine größere, am oralen Pole der Zentralkapsel zusammengedrückte Zahl bei *Planktonetta* und *Nationalietta*. Bei *Planktonetta* geht damit auch eine Vermehrung der Parapylen einher.

Bei den Nassellarien liegt die Hauptöffnung (Osculum) der monaxonen Zentralkapsel ebenso wie die Astropyle der Tripylarien am oralen Pole und ist „durch einen kreisrunden Siebdeckel geschlossen. Dieser Siebdeckel erscheint, von der Fläche betrachtet, als ein scharf umschriebenes Porenfeld und bildet die horizontale Basis eines eigentümlichen Kegels, der vertikal in das Innere der Kapsel vorspringt und als Fadenkegel (Podoconus) bezeichnet wird“ (Fig. 188). Ueber den feineren und feinsten Bau, wie über die Bedeutung dieses ganzen Apparates herrschen noch verschiedene Ansichten.

Zahl und Form der Zentralkapseln. Während bei der überwiegenden Mehrzahl der Radiolarien nur eine Zentralkapsel vorhanden ist, finden sich statt dessen bei einigen, deshalb als „polycystin“ bezeichneten Formen mehrere. Zum Teil handelt es sich hierbei offenbar nur um Entwicklungsstadien, bei denen die Teilung des ganzen Tieres der Teilung der Zentralkapsel nicht gleich gefolgt ist (z. B. bei *Thalassicolla*, *Thalassophysa*). In anderen Fällen aber scheint der Besitz mehrerer (und zwar meist zweier) einander gleichwertiger Zentralkapseln eine charakteristische Eigentümlichkeit der betreffenden Arten oder Familien zu sein (z. B. Astracanthiden [vgl. S. 206], Castaneiden, Tuscatoriden, vgl. auch Fig. 99).

Die Grundform der Zentralkapsel ist die Kugel; Abweichungen hiervon sind aber durchaus nicht selten, auch ganz abgesehen von dem die

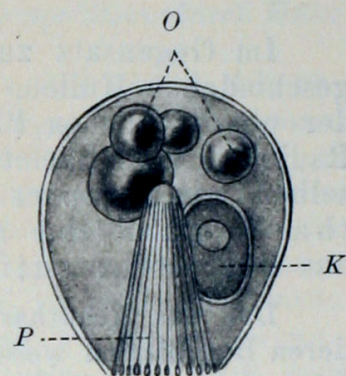


Fig. 188. **Zentralkapsel einer Nassellarie** (*Tripterocalpis ogmoptera* HCKL.). K Kern, O Oeltropfen, P Podoconus. Vergr. 300:1. Nach HAECKEL.

kugelige Gesamtform nicht immer merklich störenden monaxonen bzw. bilateralen Bau bei Nassellarien und Tripylarien. Stärkere Abweichungen von der Kugelform sind stets durch die Form des Skelettes oder des ganzen Körpers bedingt. So kann die Zentralkapsel linsenförmig, ellip-tisch oder gar langgestreckt zylindrisch werden (letzteres außer bei bestimmten Entwicklungsstadien von *Thalassophysa*, die einer multiplen, zu vorübergehenden polycystinen Zuständen führenden Teilung vorausgehen, bei einzelnen in einem Äquatorialdurchmesser sehr stark in die Länge gestreckten *Acantharien*). Bei anderen *Acantharien* entsendet die Zentralkapsel lappige Fortsätze, die den Hauptachsen des Skelettes folgen (Beispiel: *Lithoptera* mit vier regelmäßigen, in Kreuzform gestellten Lappen). Bei *Sphaerellarien* treten nicht selten allseitig radiär ausstrahlende Lappen bruchsackartig durch die Poren der innersten Gitterschale hindurch, um bei manchen Arten bei weiterem Wachstum noch wieder zu verschmelzen, so daß wieder eine kugelige, die Gitterschale umschließende Zentralkapsel entsteht. Die monaxone Zentralkapsel der Nassellarien kann in ähnlicher Weise 2—4 (meist 3) Lappen durch Öffnungen des Skelettes (Fig. 202 c) oralwärts entsenden und bei *Cycladus* entspricht dem einzigen Riesenspiculum auch eine Zentralkapsel mit langen radiären, dichotom verzweigten Ästen.

Die Kapselmembran ist bald außerordentlich dünn (unter 0,0001 mm), bald erreicht sie eine größere Dicke (bei einzelnen Arten über 0,006 mm). Bei manchen Tripylarien läßt sie zwei Schichten, eine dickere äußere und eine dünnere innere erkennen, die sich bei der Konservierung leicht voneinander ablösen (Fig. 97), doch ist dies entgegen früheren Annahmen nicht für die ganze Ordnung charakteristisch.

4. Skelettbildungen.

Im Gegensatz zu den auf der Oberfläche des Zellkörpers abgeschiedenen Hüllen, Gehäusen und Schalen werden die im Inneren der oberflächlichen Plasmaschichten abgeschiedenen Hartgebilde der Radiolarien als Skelettbildungen bezeichnet. Fast stets bestehen dieselben aus amorpher Kieselsäure; nur die Ordnung der *Acantharia* macht eine auffällige Ausnahme, indem bei ihr das Skelett aus Strontiumsulfat besteht.

Daß das *Acantharienskelett* sich chemisch von dem Skelett der anderen Radiolarien wesentlich unterscheidet, ist schon lange bekannt und zeigt sich am auffälligsten in seiner leichten und vollständigen Löslichkeit in reinem Wasser, verdünnten Säuren und gewissen Salzlösungen. HAECKEL hatte seine Substanz als organisch und chitinähnlich betrachtet und *Acanthin* genannt, eine Auffassung, die sich noch in den meisten Lehrbüchern findet. SCHEWIAKOFF (1902) kam bei einer quantitativ-chemischen Analyse zu dem Resultat, daß die Skelettsubstanz der *Acantharien* wahrscheinlich aus einem Hydrat von Calcium-Aluminiumsilikat mit Spuren von Eisen und Magnesium bestehe. Erst BÜTSCHLI (1908) erbrachte den Nachweis, daß es sich um fast reines Strontiumsulfat handelt; die bei den Analysen gefundenen Spuren von Kieselsäure ist er geneigt, auf Verunreinigungen zurückzuführen. Ebenfalls aus Strontiumsulfat bestehen nach BÜTSCHLI (1906) wahrscheinlich auch Kristalle, die sich bei einzelnen Spumellarien im Inneren der Zentralkapsel befinden (verhältnismäßig groß bei *Collosphaera huxleyi*, klein und nur bei der Schwärmerbildung auftretend bei *Sphaerozoen*).

Die meisten Skelettbildungen enthalten, wenn überhaupt, nur Spuren organischer Substanz. Nur bei einzelnen Tripylarien wird der Gehalt an organischer Substanz etwas größer, namentlich bei den Tuscaroriden, deren Skelett mürber ist wie bei den meisten anderen Tripylarienformen.

Unter den Radiolarien fehlen Skelettbildungen nur wenigen Angehörigen der Ordnungen Spumellaria (z. B. *Thalassicolla*, Fig. 46, *Thalassophysa* zum Teil), Nassellaria und Tripylaria (bei diesen beiden Ordnungen ist es aber keineswegs ausgeschlossen, daß die skelettlosen Formen nicht selbständige Arten, sondern nur Jugendformen sind). Bei manchen Formen (z. B. *Thalassophysa spinulosa*, *Thalassoplancta* [Fig. 96], *Sphaerozoum*, den Aulacanthiden unter den Tripylarien) wird das Skelett von zahlreichen isolierten einfachen oder verzweigten Kieselementen gebildet. Die einzelnen Stacheln können aber auch miteinander verhältnismäßig fest verbunden sein (bei den meisten Acantharia) und bei der Mehrzahl aller Radiolarien bildet das Skelett ein einheitliches Gerüst von oft großer Zierlichkeit, welches besonders häufig in der Form von Gitterschalen ausgebildet ist und offenbar aufgefaßt werden muß als entstanden durch Verschmelzung zahlreicher Einzelgebilde.

Die Mannigfaltigkeit und zum großen Teil auch die Kompliziertheit der Radiolarienskelette ist so außerordentlich, daß es unmöglich ist, hier eine auch nur einigermaßen vollständige Uebersicht über dieselben zu geben. Nur einzelne Beispiele und einige Gesichtspunkte mehr allgemeiner Art können hier herausgegriffen werden, um die Grundzüge der Formgestaltung etwas zu beleuchten. Im übrigen sei außer auf die nähere Beschreibung eines der kompliziertesten Radiolarienskelette auf S. 77—84 vor allem auf die monographischen Bearbeitungen der Radiolarien der Challenger- und der deutschen Tiefseeexpedition durch HAECKEL und HAECKER verwiesen.

A. In den verschiedenen Ordnungen der Radiolarien ist das Skelett trotz vielfacher unverkennbarer Konvergenzerscheinungen doch verschieden gestaltet.

1. Verhältnismäßig die einheitlichsten Verhältnisse bieten die Acantharia, deren Skelett stets aus Radialstacheln besteht, die im Gegensatz zu allen anderen Radiolarien bis zum Zentrum der Zentralkapsel reichen. Nur bei wenigen Formen (*Actinelida*) ist Zahl und Anordnung dieser Stacheln unbestimmt (*Actinelius* und *Podactinelius* mit 30—200 vom Zentrum ausgehenden Radiärstacheln). Bei allen anderen Acantharien ist dagegen Zahl und Anordnung bestimmten Gesetzen unterworfen, und zwar findet sich meist die sogenannte MÜLLERSche Stachelanordnung: 20 Stacheln sind derart gestellt, daß ihre Austrittsstellen an der Oberfläche des Radiolars zu je 4 in 5 parallelen Kreisen angeordnet sind, die bei einem Vergleich mit der Erdkugel dem Aequator, den beiden Wendekreisen und den beiden Polarkreisen entsprechen; in den einander benachbarten Kreisen stehen die Stacheln alternierend. Als Modifikationen dieser Anordnung sind auch die drei anderen von POPOFSKY (1904) aufgestellten Stellungsgesetze zu betrachten: 1) Bei der HAECKELschen Stachelanordnung finden sich 32 Stacheln, von denen 20 nach dem MÜLLERSchen Gesetz gestellt sind, während die übrigen sich zu je 4 auf den Aequator und die beiden Wendekreise verteilen (*Actinastrum*). 2) Bei der BRANDTschen Stachelanordnung sind wie bei der MÜLLERSchen 20 Stacheln vorhanden,

von denen aber zwei in den (sonst stets stachelfreien) Polen zu stehen scheinen, während die übrigen dann zu je sechs in gleichen Winkelabständen (60°) auf den Aequator und den nördlichen und südlichen 45. Breitengrad verteilt sind. Die Anordnung entspricht der MÜLLERschen, wenn die scheinbaren Polstacheln als Lateralstacheln (d. h. verkürzte Aequatorialstacheln) aufgefaßt werden, nur sind dann auch in den Polarkreisen die Stacheln ungleich stark entwickelt (Rosetta, Fig. 45). 3) Die Dreigürtelstellung, mit 18 Stacheln, entspricht der vorigen; nur fehlen die beiden Lateralstacheln (Trizona, Fig. 43).

Für die Verfestigung des Acantharienskelettes ist die zentrale Verbindung der Stacheln von Wichtigkeit. Bei den Acanthochiasmiden entstehen durch paarweise Verwachsung von Radiärstacheln 10 bzw. 16 Diametralstacheln, die bei einigen Arten lose aneinander vorbeigehen; ihre zentralen Teile können aber auch Ausbuchtungen oder schraubige Windungen besitzen, die fest aufeinander gepreßt sind und um die herum sekundär noch wieder weitere Skelettsubstanz abgeschieden werden kann, so daß ein kompaktes zentrales Verschmelzungsstück entsteht (Fig. 189). Sonst sind die Radiärstacheln im Zentrum ent-

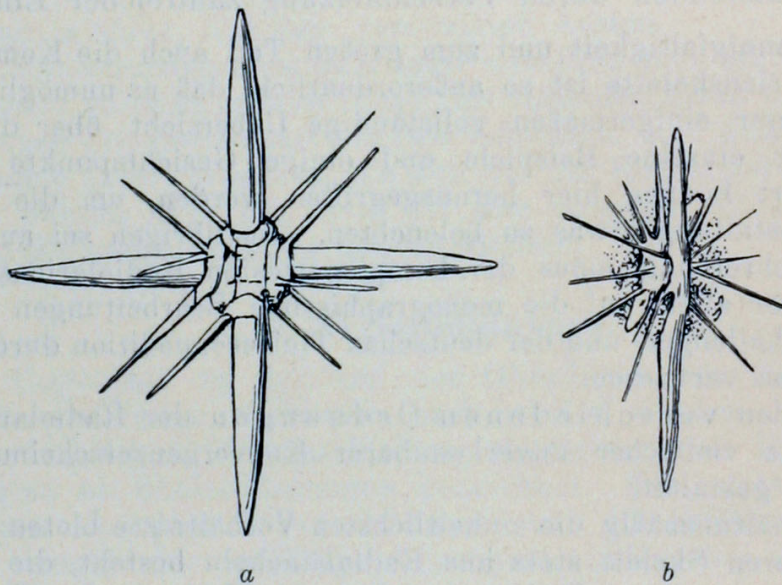


Fig. 189. **Acanthochiasma cruciata** HAECKEL. *a* Polansicht eines normalen Skeletts, *b* Seitenansicht eines etwas abnormen Skeletts, bei dem die zentralen Ausbuchtungen der beiden äquatorialen Hauptstacheln nicht ganz aufeinander treffen. Nach POPORSKY 1905.

weder durch einfache Ineinanderkeilung und sekundäre Verkittung von teils 5-, teils 6-seitigen Basalpyramiden verbunden (Fig. 190 und 192) oder ihre Verbindung wird durch ein „Blätterkreuz“ vermittelt, dessen 4 dreieckige Blätter (Fig. 191) sich mit ihren dem zentralen Stachelende zugeneigten „Stirnflächen“ aneinanderlegen. Das Blätterkreuz läßt sich von der einfachen 5- bzw. 6-seitigen Pyramide in der Weise ableiten, daß 4 von den 5 bzw. 6 dreieckigen Pyramidenflächen ihre Verbindung miteinander bzw. mit den Nachbarflächen aufgegeben haben und durch je einen blattförmigen Flügel von dem Schaft oder „Achsenstab“ des Stachels emporgehoben worden sind; die ursprüngliche, an der Stachelbasis auch stets noch als solche erkennbare Pyramidenfläche ist damit zur Stirnfläche des Blätterkreuzes geworden (Fig. 191 und 193). Die Art der Verbindung der verschiedenen Blätter-

kreuze miteinander geht aus der schematischen Fig. 193 hervor. Eine weitere Komplikation ergibt sich bei *Amphilonchidium* und *Cruciforma*

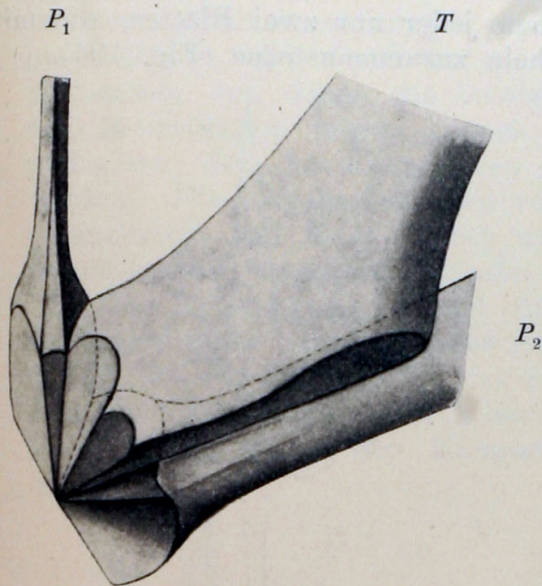


Fig. 190.

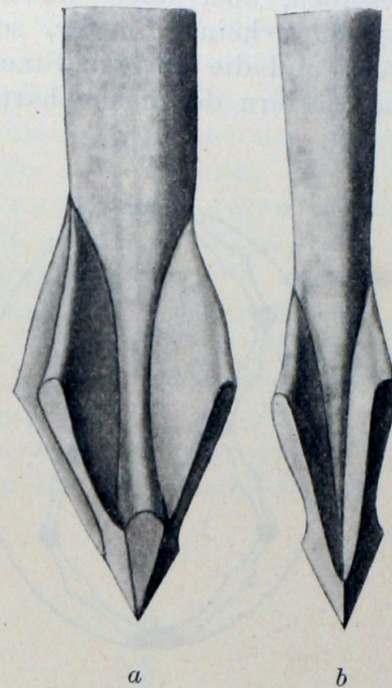


Fig. 191.

Fig. 190. ***Amphilonchidium heteracanthum*** HAECKEL. Zentrale Verbindung eines Tropen- und zweier Polstacheln. Ansicht vom Äquator. P_1 Polstachel der kürzeren, P_2 Polstachel der längeren Äquatorialachse, T Tropenstachel. Nach MIELCK 1907.

Fig. 191. ***Zygacanthidium rhombicum*** HAECKEL. a Breitseite, b Schmalseite des Basalteiles eines Hauptstachels. Vergr. 500:1. Nach MIELCK 1907.

dadurch, daß hier nur ein Teil der Stacheln 4 Blätterkreuze besitzt (bei *Cruciforma* die vier Äquatorialstacheln; bei *Amphilonchidium* [Fig. 194 und 207] nur zwei Äquatorialstacheln, die wesentlich kräftiger und

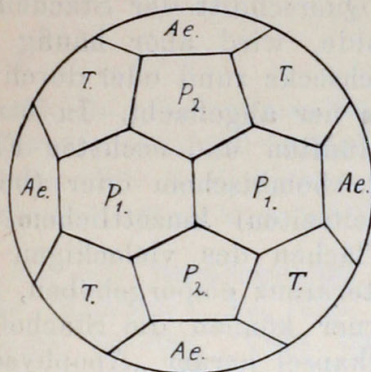


Fig. 192.

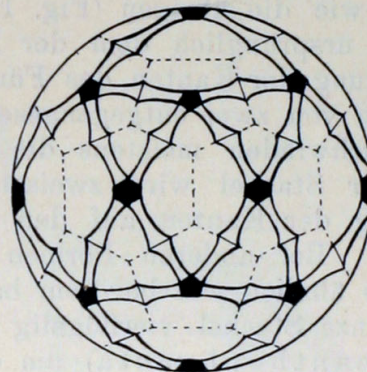


Fig. 193.

Fig. 192. Schema für die Zusammensetzung des zentralen, aus den 20 Basalpyramiden der Stacheln gebildeten Skelettstückes einer Acanthometride. Polansicht. Ae sechsseitige Äquatorialstachelpyramiden, P_1 sechsseitige und P_2 fünfseitige Polstachelpyramiden, T fünfseitige Tropenstachelpyramiden. Nach MIELCK 1907.

Fig. 193. Schema für die Zusammensetzung des zentralen, aus vierflügeligen Blätterkreuzen gebildeten Blätterbaues einer Acanthometride. Schwarz ausgefüllt der Achsenstab der einzelnen Stacheln, einfach konturiert die vier Blätter der einzelnen Stacheln, punktiert die Grenzen der den einzelnen Basalpyramiden entsprechenden Bezirke. Nach MIELCK 1907.

länger sind als die beiden anderen); ein anderer Teil der Stacheln (bei *Cruciforma* sämtliche Polstacheln; bei *Amphilonchidium* nur die Hälfte derselben, aber auch die beiden kürzeren Aequatorialstacheln) besitzt überhaupt keine Blätter, sondern endet in einfache kleine Basalpyramiden und die übrigen Stacheln haben jeder nur zwei Blätter, die mit den Blättern der benachbarten Stacheln zusammenstoßen (Fig. 194).

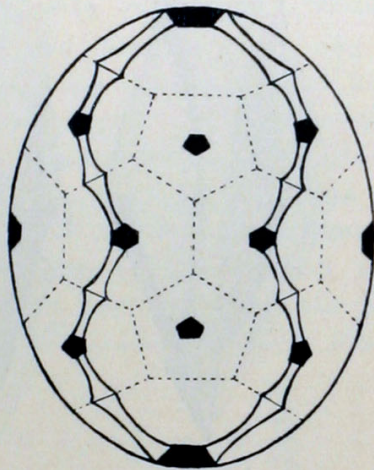


Fig. 194.

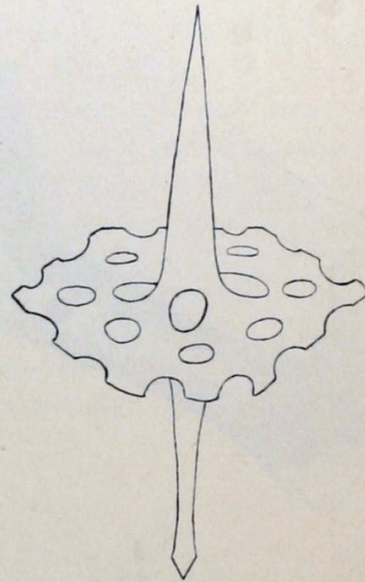


Fig. 195.

Fig. 194. Schema des Blätterbaues von **Amphilonchidium**. Polansicht. Darstellung wie in Fig. 193. Nach MIELCK 1907.

Fig. 195. Schema eines einzelnen Stachels eines **Acanthophracten**. Nach POFSKY 1907.

Auch abgesehen von dieser verschiedenen Ausbildung des Basalteiles der Stacheln kann sich das Skelett noch in sehr verschiedener Weise komplizieren. Häufig sind, wie bereits angedeutet, die einzelnen Stacheln verschieden gestaltet, vor allem bestimmte Stacheln länger und dicker wie die übrigen (Fig. 190). Der Querschnitt der Stacheln entspricht ursprünglich dem der Basalpyramide, wird aber häufig durch Abrundung der Kanten des Fünf- bzw. Sechsecks rund oder durch Kompression von zwei entgegengesetzten Seiten her abgeflacht. In letzterem Falle schwinden meistens die schmalen fünften und sechsten Flächen und der Stachel wird zweischneidig mit rhombischem oder (bei Abrundung der Kanten auf den beiden Breitseiten) lanzettlichem Querschnitt. Bei anderen Formen sind 4 Flächen des vieleckigen Querschnitts ähnlich wie bei dem basalen Blätterkreuz emporgehoben, so daß der ganze Stachel vierflügelig wird. Ferner können die Stacheln (bei den *Acanthophracta*) um die Zentralkapsel herum „Apophysen“ in Gestalt tangential gestellter Dornen entsenden (vgl. Fig. 45), die sich dann verästeln und deren Aeste miteinander anastomosieren und sich mit denen der benachbarten Radialstacheln zur Bildung einer die Zentralkapsel umschließenden Gitterschale verbinden (Fig. 195 und 44). Von der Oberfläche dieser Gitterschale können sich noch kleine radiäre „Nebestacheln“ erheben oder auch becherförmige Gitter-„Mäntel“, die alle oder einzelne Stacheln umgeben, und bei einigen Formen sind ähnlich vielen Spumellarien statt einer einzigen zwei konzentrische Gitterschalen entwickelt.

2. Bei den Spumellarien ist das Skelett sehr verschiedenartig ausgebildet. In Ergänzung des hierüber bereits auf S. 30 f. Gesagten mögen hier nur noch einige vergleichende Angaben über die Gitterschalen der Sphaerellarien folgen. Häufiger als in den anderen Radiolarienordnungen sind hier mehrere konzentrisch ineinander geschachtelte und durch radiale Strebepfeiler verbundene Gitterschalen vorhanden, von denen die innerste oder die beiden innersten innerhalb der Zentralkapsel liegen können und dann von HAECKEL als Markschalen den extrakapsulären Rindenschalen gegenübergestellt werden. Die Lagebeziehungen von Skelett und Zentralkapsel sind aber veränderlich und MAST (1910) unterscheidet deshalb von anderen Gesichtspunkten ausgehend, Primär-, Sekundär- und Tertiärschalen.

Die Primärschale ist die einzige Schale oder diejenige, die auf Grund einer vergleichenden Betrachtung der verschiedenen Gattungen und Arten der Gitterschale der einschaligen Formen homologisiert werden muß. Sie ist meist durch besondere Derbheit ausgezeichnet (Fig. 196 bis 198, *Ps*), bildet den Hauptstützpunkt für die Radialstacheln und

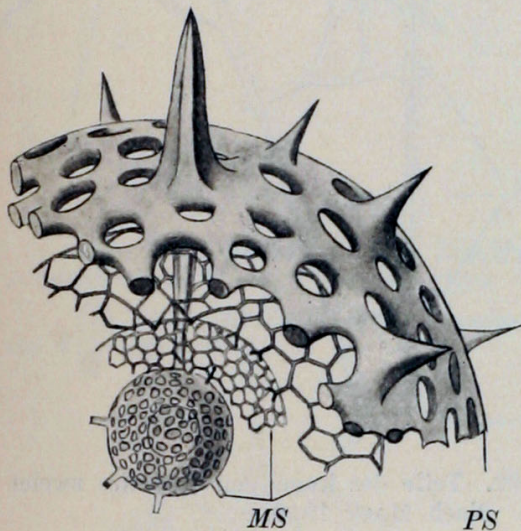


Fig. 196.

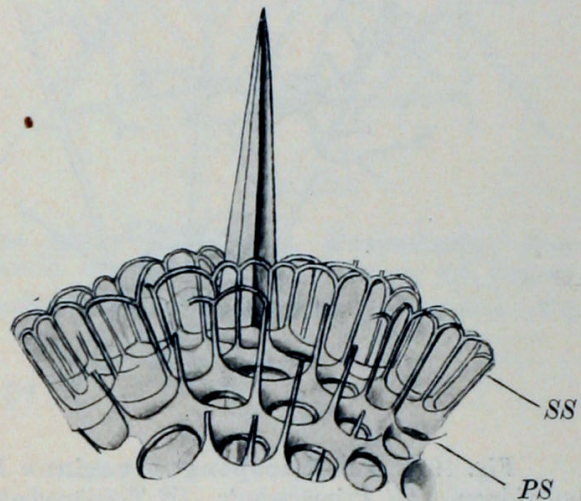


Fig. 197.

Fig. 196. **Caryomma heterocyclum** MAST. Ein Teil des kugeligen Skelettes. *MS* 3 Markschalen, *PS* Primärschale. Nach MAST 1910.

Fig. 197. **Hexacromyum elegans** HAECKEL. Ein Teil des kugeligen Skelettes. Vergr. 400 : 1. *PS* Primärschale, *SS* Sekundärschale. Nach HAECKEL 1887.

Fig. 198. **Heterosphaera croomyommoides** MAST. Teil des kugeligen Skelettes. *MS* 2 Markschalen, *PS* Primärschale, *SS* Sekundärschale. Nach MAST 1910.

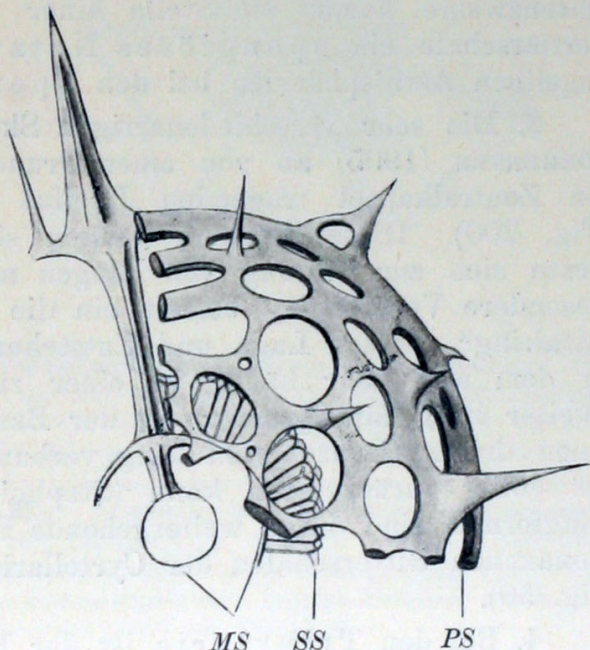


Fig. 198.

entspricht meist einer Rindenschale früherer Autoren, ohne doch deshalb immer die äußerste Schale zu sein. Innerhalb der Primärschale gelegene, stets sehr viel zartere Schalen können die alte Bezeichnung Markschalen behalten ohne Rücksicht auf ihre Lage zur Zentralkapsel (Fig. 196 und 198, Ms).

Von der Primär- (oder auch von einer Mark-) Schale können sich zwischen den Hauptstacheln kleinere „Nebenstacheln“ (kurze Radialstacheln mit streng kreisrundem Querschnitt) erheben, durch deren Verästelung und Anastomosierung die Sekundärschale entsteht (Fig. 197 und 198, Ss).

Tertiärschalen, die im Gegensatz zu den Sekundärschalen in der Mehrzahl vorhanden sein können, entstehen dagegen durch Verästelung und Anastomosierung der Hauptstacheln (Fig. 199). Bei reich-

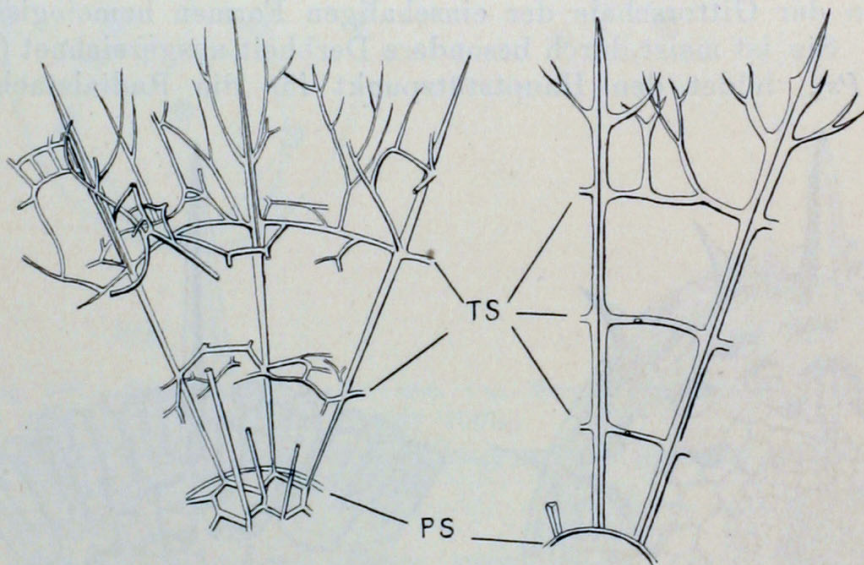


Fig. 199. *Arachnospongius varians* MAST. Teile des kugeligen Skelettes zweier Individuen. PS Primärschale, TS Tertiärschalen. Nach MAST 1910.

licherer Verzweigung derselben und unregelmäßiger Anordnung der Seitenzweige kommt an Stelle einer mehr oder weniger regelmäßigen Tertiärschale ein spongiöses Netzwerk zustande (z. B. unter den kugeligen Astrosphäriden bei den Spongosphaerinen).

3. Die sehr verschiedenartigen Skelette der Nassellarien leitet JÖRGENSEN (1905) ab von einer Grundform, bei der sich über einem die Zentralkapsel tragenden Dreifuß noch ein Apikalstachel erhebt (Fig. 200). Diese Stacheln können sich verästelnd und einzelne ihrer Äste sich zur Bildung von Ringen miteinander vereinigen (Fig. 201). Besondere Verbreitung besitzt ein die Zentralkapsel umgreifender „Sagittalar“, dessen Lage und Entstehung aus Fig. 48 hervorgeht und zu dem sich sehr häufig in einer zu ihm senkrechten Richtung ein zweiter Ring hinzugesellt; an der Basis des Skeletts sind beide durch einen dritten horizontalen Ring verbunden, während der primäre Dreifuß völlig zurücktreten kann (Stephoiden, Fig. 49). Von derartigen Ringformen sind durch weitergehende Fortsatzbildung die mannigfaltigen monaxonen Gitterschalen der Cyrtellarien ableitbar (Fig. 202, vgl. auch Fig. 50).

4. Bei den Tripyllaria ist der Formenreichtum so unerschöpflich und dabei der Aufbau der verschiedenen Skelettformen so wenig ein-

heitlich (vgl. die systematische Uebersicht auf S. 32f.), daß hier auf eine auch nur summarische Betrachtung verzichtet werden muß. Einige wichtigere Ausbildungsformen des Skelettes werden jedoch in den folgenden Absätzen noch berührt werden. Ein verhältnismäßig sehr kompliziertes Tripylarienskelett ist bereits auf S. 77—84 geschildert worden.

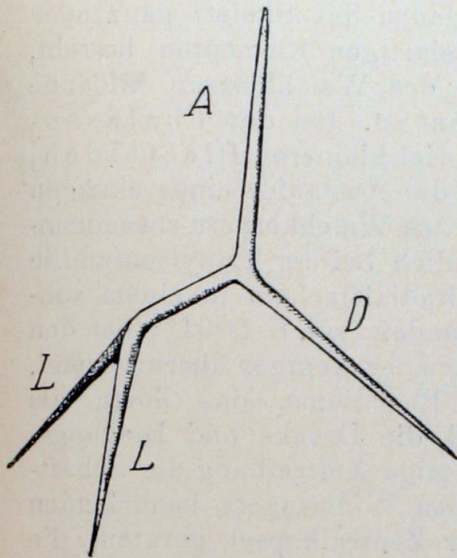


Fig. 200.

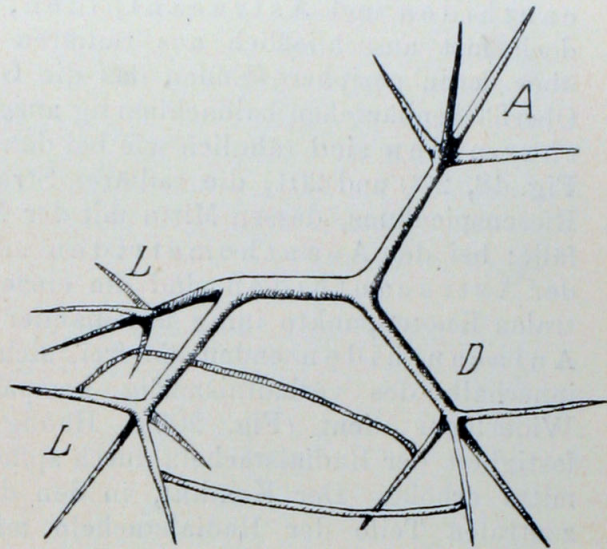


Fig. 201.

Fig. 200. **Schema des Dreifußes einer plektoiden Nassellarie.** Nach JÖRGENSEN 1905 aus POPOFSKY 1908. Betreffs der Lage der Zentralkapsel vgl. Fig. 48.

Fig. 201. **Skelett von Plectacantha.** Schematisch. Nach JÖRGENSEN 1905 aus POPOFSKY 1908.

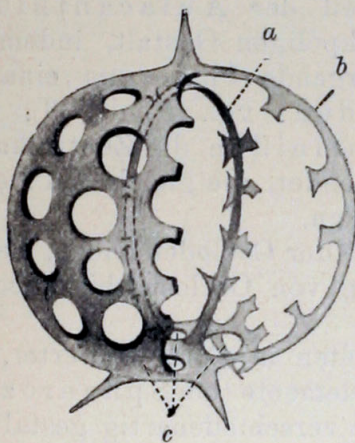


Fig. 202.

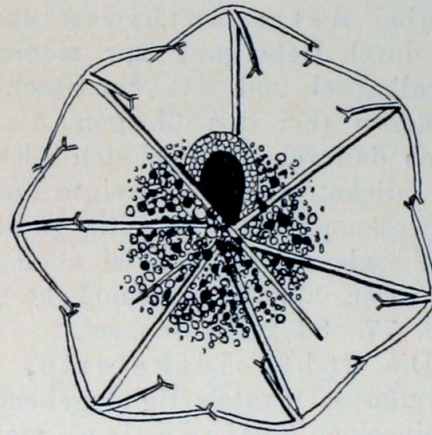


Fig. 203.

Fig. 202. **Schema des Cyrtellarienskelettes.** *a* Der primäre Sagittalring um die Zentralkapsel (vgl. hierzu Fig. 48), *b* der auf ihm senkrechte zweite Meridionalring. In der rechten Hälfte des Schemas ist das Skelett so gezeichnet, wie es sich bei den Stephoiden darstellt, wo es nur aus den Ringen besteht (vgl. Fig. 49). Aus der Bestachelung der Ringe geht dann bei den Cyrtellarien die Gitterwand des sog. Capitulum hervor, wie sie auf der linken Hälfte der Figur dargestellt ist. *c* Die für die Cyrtellarien charakteristischen drei Basallöcher, die von Basalstacheln flankiert werden. Von den letzteren aus kommt es bei den mehrgliedrigen Formen zu einer Verlängerung des Gitterskelettes nach unten, wobei dann auch die Zentralkapsel drei lappige Fortsätze durch die Basallöcher hindurch entsendet. Nach BÜTSCHLI 1910 aus DOFLEIN.

Fig. 203. **Aulographis arcuata** HAECKER. Aus HAECKER 1908.

B. Die mechanisch-funktionelle Formgestaltung des Radiolarienskelettes ist auf 2 Haupttypen zurückzuführen, die sich frei-lich in verschiedener Weise miteinander kombinieren können und die wir mit HAECKEL als Astroid- und Sphäroidtypus bezeichnen.

Der Astroidtypus findet sich am reinsten ausgeprägt bei den Acanthomethriden, Thalassothamniden, Plectoiden, Aulacanthiden und Astracanthiden, bei denen das Skelett ganz oder doch fast ausschließlich aus radiären stachelartigen Elementen besteht, über deren periphere Enden das die Grenze des Weichkörpers bildende Oberflächenhäutchen baldachinartig ausgespannt ist. Bei den Thalassothamniden sind (ähnlich wie bei den sehr viel kleineren Plectoiden, Fig. 48, 200 und 201) die radiären Strahlen die Ausläufer eines einzigen Riesenspiculums, dessen Mitte mit der Mitte des Weichkörpers zusammenfällt; bei den Acanthometriden und ähnlich bei der Tripyleenfamilie der Astracanthiden sind die einzelnen Radialstacheln in einem zentralen Knotenpunkte innig miteinander verbunden (vgl. S. 200f.); bei den Aulacanthiden enden sie frei, sich mehr oder weniger überkreuzend, innerhalb des verhältnismäßig kompakten Phäodiums, das ihnen als Widerlager dient (Fig. 203). Häufig wird die Druck- und Biegefestigkeit der Radialstacheln durch spindelförmige Auftreibung der Schaftmitte erhöht. Der Konflikt, in den die eines Widerlagers bedürftenden zentralen Teile der Radialstacheln mit der Zentralkapsel geraten, die aus statischen und ernährungsphysiologischen Gründen ebenfalls bestrebt ist, ihren Platz in der Mitte des Weichkörpers einzunehmen, wird bei den Acantharien dadurch ausgeglichen, daß die Zentralkapsel von den Radialstacheln durchsetzt wird. Bei den anderen genannten Familien wird dagegen die Zentralkapsel aus der Mitte des Weichkörpers verdrängt; das Gleichgewicht wird dann aufrecht erhalten durch Verdoppelung der Zentralkapsel und dadurch bedingten bilateral-symmetrischen Bau (bei Astracanthiden und einem Teil der Aulacanthiden) oder durch Uebergang zur monaxon-ungleichpoligen Gestalt, indem die Zentralkapsel und das die Stachelbasen bergende Phaeodium einander überlagern (bei den übrigen Aulacanthiden, vgl. Fig. 203), oder endlich dadurch, daß bei den Thalassothamniden die Zentralkapsel lange, dichotomisch verzweigte Fortsätze entsendet, die gleich den Aesten des Riesenspiculums allseitig radiär ausstrahlen.

Vorwiegend astroid ist auch das Skelett der Coelodendriden, bezüglich dessen auf die ausführliche Besprechung von *Coelospathis ancorata* auf S. 77—84 verwiesen sei.

Die Sphäroidskelette, die nur selten in Form isolierter, die Zentralkapsel mantelartig umgebender Skelettelemente (bei Sphaerozoen und einzelnen Colloclarien), meist in Form verschiedenartig gestalteter Gitterschalen (bei der Mehrzahl aller Radiolarien) ausgebildet sind, bieten der Zentralkapsel einen wesentlich größeren Schutz und im allgemeinen auch dem ganzen Weichkörper einen besseren Zusammenhalt. Uebergänge zum Sphäroidtypus finden sich daher auch in solchen Radiolariengruppen, die im allgemeinen Astroidskelette besitzen: Die Aulacanthiden besitzen außer ihren großen Radialstacheln noch einen peripheren Mantel kleiner Tangentialnadeln und bei manchen von ihnen haben die Radialstacheln selbst tangential abgehende Seitenzweige oder endständige zurückgekrümmte Terminaläste, die den Weichkörper völlig käfigartig umklammern können (z. B. *Aulographis arcuata*, Fig. 203); unter den im Prinzip durchweg dem Astroidtypus folgenden Acantharien

kommen nicht nur ebenfalls derartige tangentialer Seitenzweige vor, sondern ist es sogar bei den *Acanthophracta* zur Ausbildung einer geschlossenen Gitterschale gekommen (Fig. 44), und in ähnlicher Weise hat sich anscheinend auch unter den Collodarien anschließend an das rein astroid gestaltete Riesenspiculum der Thalassothamniden die Gitterschale der Orosphaeriden entwickelt (vgl. RIECKE 1910).

Entsprechend seiner weiten Verbreitung zeigt der Sphäroidtypus die mannigfaltigsten Modifikationen. Die kugelige Grundform macht ellipsoidischen, scheibenförmigen, linsenförmigen, eiförmigen, zweiklappigen usw. Ausbildungen der Gitterschale Platz, und besonderes Interesse verdient die namentlich bei den Nassellarien weit verbreitete, aber auch für mehrere Tripylarien-Familien (z. B. Tuscaroriden) charakteristische monaxon-ungleichpolige Ausbildung der helm-, becher-, urnen- oder flaschenförmigen Schale mit einer großen Hauptöffnung (Pylom) am unteren Pole.

Gesteigert wird die Mannigfaltigkeit weiter durch verschiedenartige Skulptur, Ornamentik und Bewaffnung der Gitterschalen. Von allgemeinerem Interesse sind namentlich die weitverbreiteten Radiärstacheln, welche sich von der Oberfläche der Gitterschale erheben und ebenso wie bei den Astroidskeletten nicht nur als Druckfänger und Stützen für das auf ihnen ausgespannte Oberflächenhäutchen, sondern auch ähnlich den Fortsätzen der Peridineen (vgl. S. 172) und pelagischen Foraminiferen (vgl. S. 192) als Schwebapparate dienen. Bei den Tripylarien wird der Grad der Anpassung an die Schwebefunktion außer von der Zahl und Länge der Radiärstacheln vor allem von deren Verzweigungen und Terminalbildungen bestimmt, die 4 verschiedene Typen erkennen lassen:

1) den Doldentypus mit in einer Ebene endenden kandelaber- oder fontänenartigen Terminalkronen (Fig. 204), die, meist sehr zahlreich, keine nennenswerten Einbuchtungen der Weichkörperoberfläche zwischen sich gestatten und also die Schwebefähigkeit noch kaum erhöhen;

2) den Trugdoldentypus mit durch wiederholte dichotome Gabelung entstehenden Terminalkronen (Fig. 209), deren Funktion als Schwebeparat abhängig ist von dem Krümmungsgrade der Fläche, welche die freien Enden bilden;

3) den Aehrentypus, bei dem die zahlreichen Radiärstacheln nicht ausgebreitete Terminalkronen, sondern zahlreiche, bald unregelmäßig verteilte, bald in regelmäßigen Quirlen angeordnete Aestchen

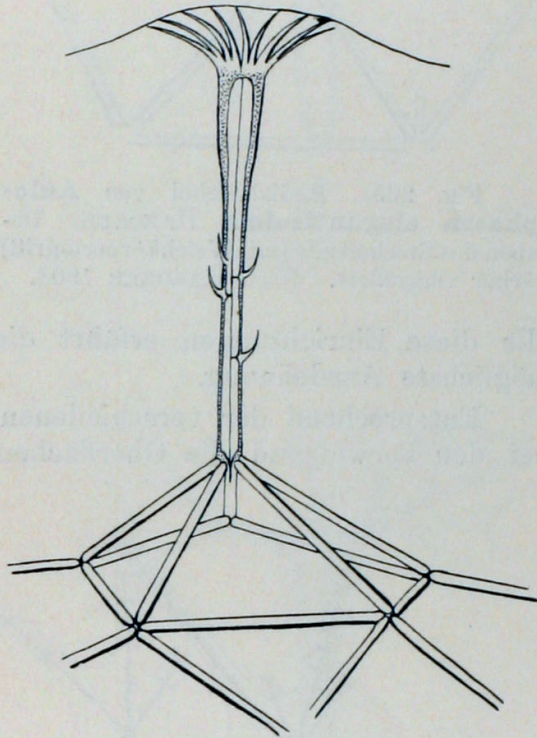


Fig. 204. Radialstachel von *Aulosцена atlantica* HAECKER. Nach HAECKER 1908.

tragen und hierdurch ein die Schwebfähigkeit erhöhendes kompliziertes Oberflächenrelief des ganzen Tieres bedingen (Fig. 205 und 206);

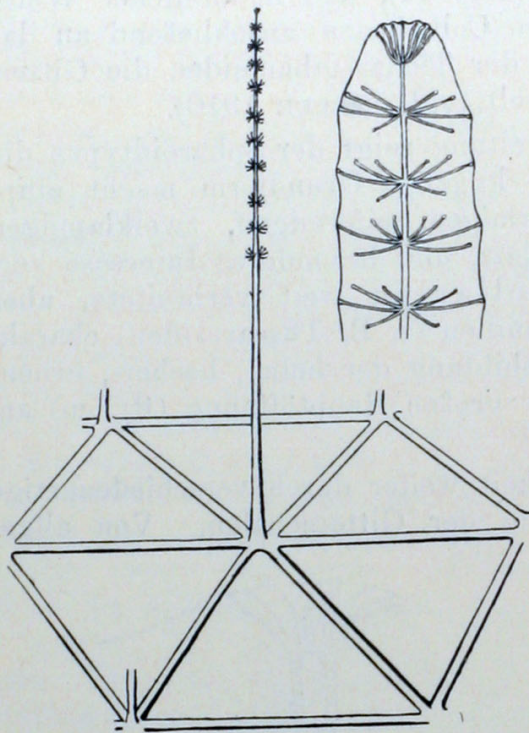


Fig. 205. Radialstachel von **Aulospaera elegantissima** HAECKEL. Daneben das Stachelende (mit Weichkörperumriß) stärker vergrößert. Nach HAECKER 1908.

alle diese Einrichtungen erfährt die Tragfläche des Körpers die größtmögliche Ausdehnung.

Entsprechend der verschiedenen Dichtigkeit des Wassers finden sich bei den vorwiegend die Oberflächenschichten bewohnenden Acantharien

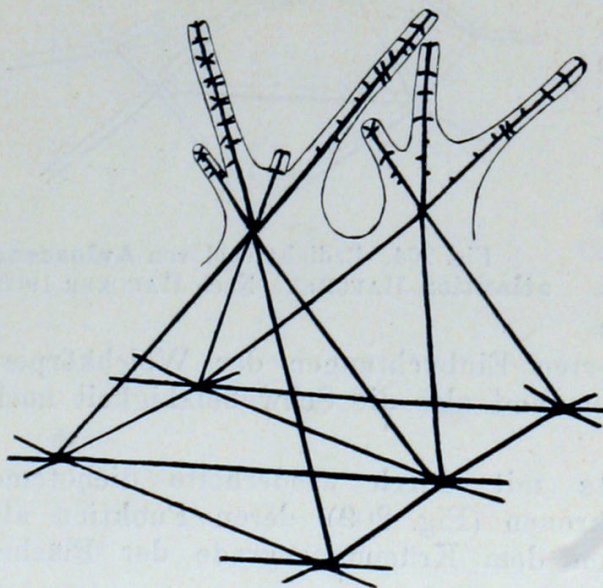


Fig. 206. Zwei „Zelte“ (mit zugehörigem Weichkörperumriß) von **Sagoscena elegans** BORG. Nach HAECKER 1908.

4) den Griffeltypus, bei dem wenige Radialstacheln ganz besonders mächtig entwickelt sind in Form der „Griffel“ der Coelodendriden (vgl. S. 81) oder der als „Füße“ bezeichneten Stacheln im Umkreise des Pyloms bei den Tuscaroriden (vgl. S. 84).

Bei den Acantharien beruht die Schwebefunktion des Skelettes vor allem auf der charakteristischen Stellung der weit vorspringenden Stacheln (vgl. S. 199). Der „Aequator“ der verschiedenen Stachelanordnungen schwebt stets horizontal und bei verschiedener Stachellänge finden sich in ihm die längeren bzw. längsten Stacheln; ebenso sind zweischneidige Stacheln im Aequator stets horizontal ausgebreitet, während vierkantige oder vierflügelige Stacheln ihre Flächen bzw. einspringenden Winkel stets nach unten, oben und den Seiten wenden. Durch

vollkommenere Schwebevorrichtungen in den wärmeren Breiten, während bei den Tripylarien ein entsprechender Unterschied im allgemeinen deutlicher hervortritt beim Vergleich der Formen des wärmeren Oberflächenwassers mit den ausgesprochenen Tiefenbewohnern.

C. Die Entwicklung des Skelettes erfolgt bei den Acantharien entsprechend der anderen chemischen Zusammensetzung in anderer Weise wie bei den übrigen Radiolarien: die Stacheln wachsen während der Abscheidung der Skelettsubstanz von der Mitte nach der Peripherie vor und lassen ihr gleichzeitig erfolgendes Dickenwachstum häufig an einer

deutlichen Schichtung erkennen (Fig. 207). Dementsprechend entwickelt sich auch bei den Acanthophracten die Gitterschale erst nachträglich (vgl. Fig. 45) und sekundär können die Stacheln auch im Zentrum miteinander verwachsen.

Auch bei Spumellarien scheint eine Fortbildung des Kiesel-skelettes stattzufinden, indem wenigstens bei Formen mit mehrfachen

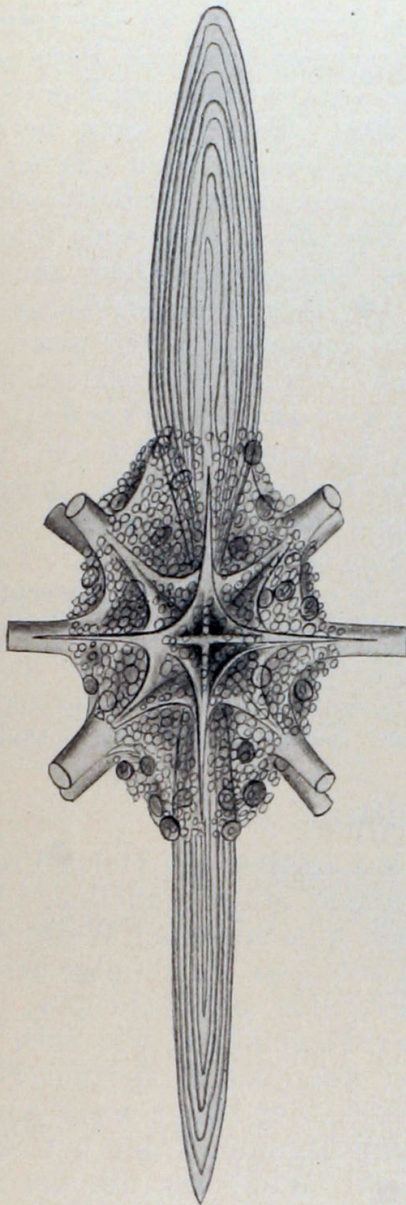


Fig. 207.

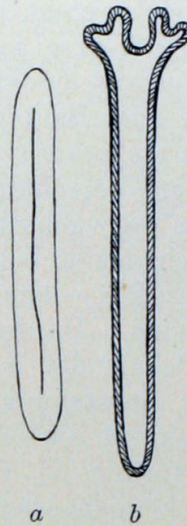


Fig. 208.

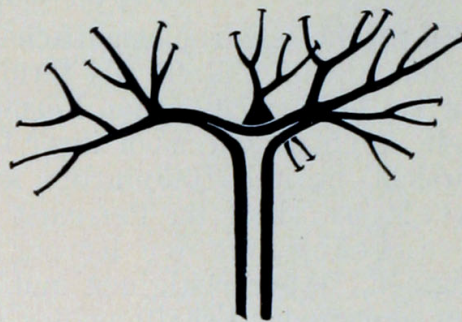


Fig. 209.

Fig. 207. **Amphilonchidium haeckeli** POP. Polansicht. Vergr. 512:1. Nach POPOFSKY 1904.

Fig. 208. Erste Entwicklungsstadien der Kieselnadeln von **Tripylarien**. *a* Primitivnadel in der Gallertvakuole. *b* Beginn der Sprossenbildung an der Vakuolenhaut. Schematisch. Nach HAECKER 1908.

Fig. 209. Verzweigung eines Radialstachels von **Auloceros arborescens** nach erfolgter primärer Verkieselung. Nach HAECKER 1908.

Gitterschalen diese nicht gleichzeitig, sondern eine nach der anderen gebildet werden können.

Die Kieselskelette der Tripylarien sind dagegen in ihrer Form schon fertig vorgebildet, wenn ihre Verkieselung beginnt. Ein nach-

trägliches Wachstum des Skelettes findet hier nicht statt. Die erste Anlage des Tripylarienskelettes zeigt sich nach HAECKER (1908) in Form von sehr dünnen, bestimmt angeordneten Kieselnadeln, den „Primitivnadeln“, um die herum sich alsbald ein in die Länge gezogener Tropfen dünnflüssiger Gallerte bildet, die „Gallertvakuole“ (Fig. 208, *a*). Diese grenzt sich gegen die Umgebung ab durch eine besonders differenzierte Schicht lebenden Protoplasmas, die „Vakuolenhaut“, welche selbständig zu wachsen und an ihren Enden Sprossen zu bilden vermag (Fig. 208, *b*). Erst wenn diese häutigen Stachelanlagen die Form des fertigen Skelettes erreicht haben, erfolgt die Verkieselung der Vakuolenhaut („primäre Verkieselung“, Fig. 209). Hiermit kann bereits der definitive Zustand erreicht sein; das Skelett besteht dann aus hohlen Einzelementen oder Balken, die an den Knotenpunkten der Gitterschale miteinander oft gelenkig verbunden sind (Fig. 204), aber auch infolge vorausgegangener Verschmelzung aneinander stoßender Gallertvakuolen fest miteinander verwachsen sein können. Der Hohlraum der Terminaläste wird jedoch meist bis auf einen feinen Achsenkanal von einer anfangs körnigen Masse ausgefüllt, die durch „sekundäre Verkieselung“ homogenisiert wird. Häufig greift diese sekundäre Verkieselung auch auf den Schaft der Stacheln bzw. auf das ganze Skelett über und führt dann zur Entstehung solider Skelettbildungen, in deren Innerem jedoch vielfach noch die feinen Primitivnadeln kenntlich bleiben, trotzdem der sie ursprünglich umgebende Hohlraum geschwunden ist. Diese Primitivnadeln können aber anscheinend auch nachträglicher Resorption verfallen (hierauf beruht vielleicht ihr anscheinendes Fehlen bei Auloceros, vgl. Fig. 209). Bei Aulokleptes dienen statt ihrer aufgenommene Fremdkörper (Stacheln anderer Radiolarien, langgestreckte Diatomeenschalen u. dgl.) als formgebendes Element für die Stachelanlagen.

5. Elastische Fibrillen.

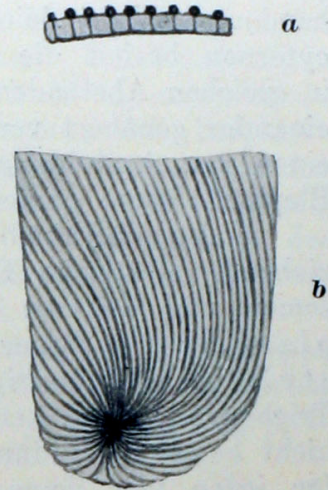
Elastische (skleroplasmatISChe) Fibrillen spielen bei vielen Protozoen eine wichtige Rolle als formbestimmende Stützorganellen. Wir finden sie bei verschiedenen Formen in sehr verschiedener Weise entwickelt, können aber nach ihrer Lage im Interesse einer allgemeinen Uebersicht etwa 4 Hauptarten solcher Fibrillen unterscheiden: Die Mantelfibrillen im Periplast mancher Flagellaten, wie auch die Achsenstäbe, die den Körper mancher Flagellaten (speziell Polymastiginen, Hypermastiginen und Binucleaten) der Länge nach durchziehen, dienen der Erhaltung der konstanten Eigenform der betreffenden Protozoen. Die Basalfibrillen der Wimpern, die bei den Ciliaten wohl allgemein verbreitet sein dürften, dienen dagegen zunächst diesen Wimpern als stützendes Widerlager bei ihrer Bewegung, können aber auch zu Bündeln zusammentreten, die ähnlich den Achsenstäben der Flagellaten den ganzen Körper der Länge nach durchziehen. Die Achsenfibrillen einzelner Bewegungsorganellen (Axopodien und Undulipodien) endlich sind vor allem für die Erhaltung der Eigenform dieser Bewegungsorganellen, seltener (bei den Heliozoen und einzelnen Flagellaten) auch für die Erhaltung der konstanten Eigenform des ganzen Tieres von Wichtigkeit.

1. Die Mantelfibrillen der Flagellaten wollen wir an der Hand zweier verhältnismäßig gut untersuchter Beispiele betrachten, die ganz verschiedene Verhältnisse zeigen. Gemeinsam ist ihnen nur die

oberflächliche Lage im Periplast und der annähernd längsgerichtete Verlauf.

Der Periplast von *Euglena ehrenbergi* ist sehr feinschraubig längsgestreift (Fig. 210, *b*) und diese Streifung wird durch zahlreiche und dichtgedrängte elastische Fibrillen bedingt, die ganz oberflächlich liegen und auf dem Querschnitt halbkreisförmig nach außen vorspringen (Fig. 210, *a*). Am hinteren Körperpole laufen die Fibrillen in einem Punkte zusammen; vorn senken sie sich gleich dem ganzen Periplast in den Trichter hinein, um ebenso wie dieser am Uebergang des Trichters in das Reservoir zu endigen (vgl. Fig. 236).

Fig. 210. **Mantelfibrillen von *Euglena ehrenbergi*.** *a* Querschnitt durch den Periplast, der ein einschichtiges Wabenwerk darstellt und auf dessen Oberfläche (in der Figur oben) die Fibrillen etwas vorspringen. *b* Hinterende des Flagellaten bei schwächerer Vergrößerung mit schematischer Gesamtdarstellung des Fibrillenverlaufs. Nach HAMBURGER 1911.



Durch Behandlung mit Pankreatin oder Pepsin, die den übrigen Periplast lösen, können sie isoliert werden (vgl. auch S. 155). Ihre leicht spiralige Anordnung bedingt jedenfalls die schraubige Drehung der sich kontrahierenden Euglenen.

Im Periplast der Trypanosomen und verwandter Formen (*Haemoproteus* und *Leucocytozoon* in ihren trypanosomenförmigen beweglichen Stadien) finden sich ebenfalls Fibrillen (Fig. 212), die hier meist als „Myo-

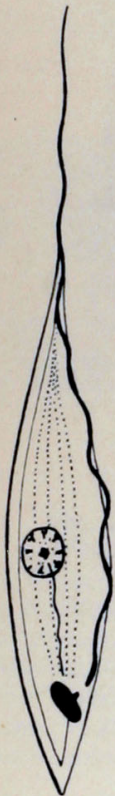


Fig. 211.

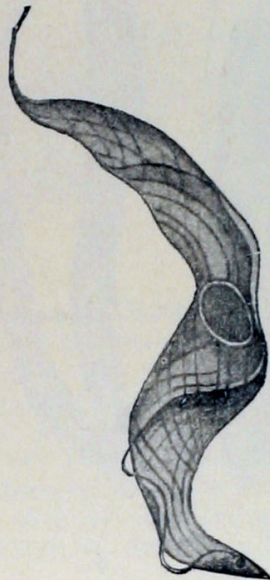


Fig. 212.

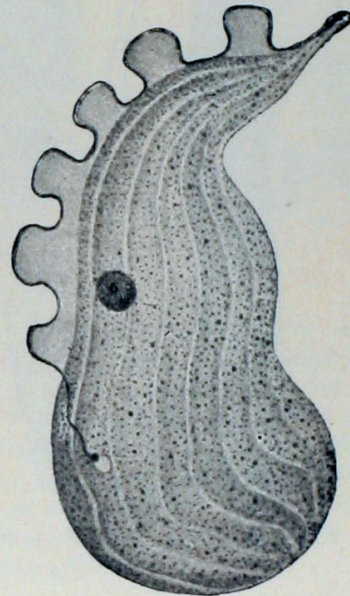


Fig. 213.

Fig. 211. **Elastischer Fibrillenapparat von *Trypanosoma*.** Schematisch. Punktiert die vier Mantelfibrillen der einen Fläche. Ausgezogen die drei im Endoplasma gelegenen Fibrillen. Nach PROWAZEK 1905.

Fig. 212. ***Trypanosomae percae* BRUMPT** aus dem Blute des Barsches. Exemplar mit sehr deutlichen Mantelfibrillen. Vergr. 1600 : 1. Nach MINCHIN aus DOFLEIN.

Fig. 213. ***Trypanosoma rotatorium* (MAYER)** aus dem Blute des Frosches. Die Mantelfibrillen als helle Linien hervortretend. Nach DOFLEIN.

neme“ bezeichnet werden, aber sicher nicht kontraktile sind, sondern vielmehr elastische, formbestimmende Elemente darstellen und als Antagonisten der undulierenden Membran wirken. Ihre Zugehörigkeit zum Periplast zeigt sich deutlich bei zerquetschten Exemplaren, deren Endoplasma ausgeflossen ist. Ihre Zahl ist stets konstant; meist sind 8 vorhanden, auf jeder Seite des abgeflachten Körpers 4 (Fig. 211), nur Leucocytozoon besitzt die doppelte Anzahl, die beim Weibchen (Fig. 152, a) in gleichen Abständen, beim Männchen (Fig. 152, d) dagegen paarweise einander genähert verlaufen. SCHAUDINN führt sie auf die Spindelfasern einer zur Ausbildung der Geißel führenden heteropolen Teilung des Blepharoplasten zurück (Fig. 150, I, c auf S. 151).

2. Achsenstäbe, d. h. axiale, den Körper der Länge nach durchziehende elastische Elemente, finden sich ebenfalls bei den Trypanosomen und anderen Binucleaten (als axialer Doppelfaden oder Axoplast), sowie ferner (als Achsenstäbe im engeren Sinne oder Axostyl) bei Polymastiginen und Hypermastiginen (Trichomonaden und Trichonymphen). Ob es sich in beiden Fällen um homologe oder nicht homologe Bildungen handelt, ist noch strittig. Wir wollen deshalb für jeden von ihnen die Entwicklung an einem verhältnismäßig gut untersuchten Beispiel kurz betrachten, ohne aber dabei auf die eben angedeutete Streitfrage näher einzugehen, da uns dies sonst allzu sehr in cytologische Einzelheiten der Kernteilung hineinführen würde.

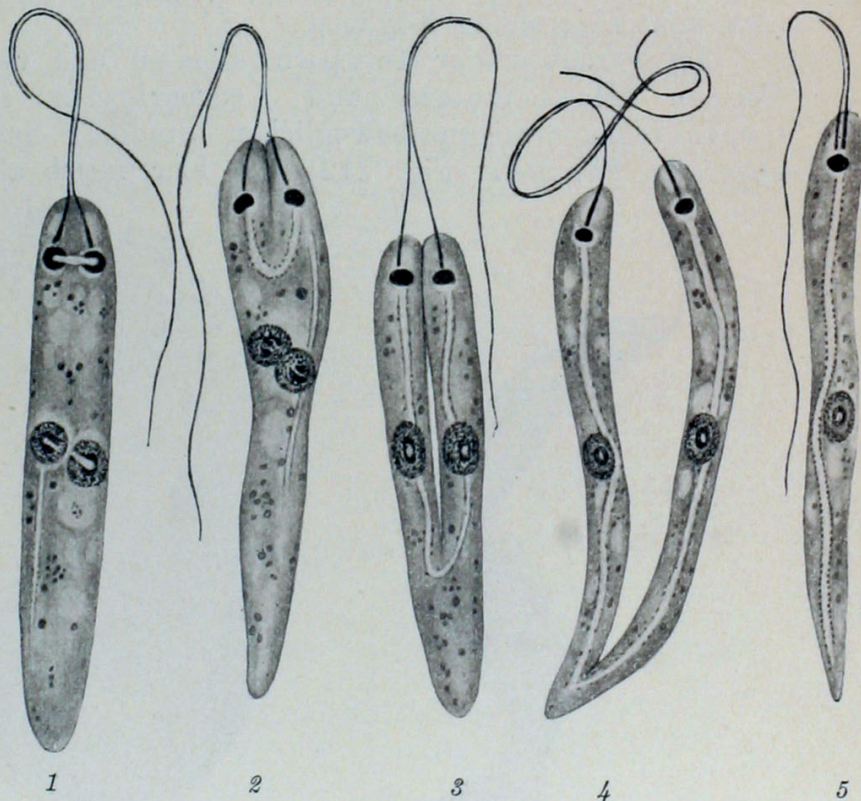


Fig. 214. *Leptomonas drosophilae* CHATT. & LÉG. Bildung des „Axoplast“ bei der Teilung. 1 Centrodese bei der Teilung des Blepharoplast, 2–4 Verlängerung und Krümmung der Centrodese bei fortschreitender Teilung des Plasmakörpers, 5 ausgebildeter „Axoplast“ nach Vollendung der Teilung. Nach CHATTON & LÉGER 1911.

Bei *Trypanosoma* sind nach PROWAZEK zwei Fibrillen im Endoplasma vorhanden, die von einem Körnchen in der Nähe des geißelfreien Endes ausgehen und von denen eine zu dem durch eine dritte Fibrille mit dem Kern verbundenen Blepharoplast, die andere dagegen durch

die ganze Länge des Körpers bis zum geißeltragenden Pol läuft (Fig. 211). Sie entsprechen offenbar dem „Doppelfaden“, der nach PROWAZEK (1904) bei *Herpetomonas* den ganzen Körper vom Blepharoplast bis zu einem auch hier in der Nähe des geißelfreien Endes vorhandenen Körnchen durchzieht (Fig. 10) und der in anderen Bildern den Eindruck eines axialen Kanals machen kann (LÉGER 1902). Die Entwicklung dieses „Axoplast“ ist neuerdings von CHATTON und LÉGER (1911) untersucht worden bei der nahe verwandten *Leptomonas drosophilae* (Fig. 214). Er geht hiernach aus der Centrodesmose des Blepharoplasten hervor, die bei der von vorn aus allmählich fortschreitenden Längsspaltung des Flagellatenkörpers zuerst U-förmig, dann V-förmig sich nach hinten ausdehnt und schließlich erst am Hinterende des Flagellaten durchgetrennt wird. Der alte Axoplast des Muttertieres wird schon am Beginn der Teilung eingeschmolzen.

Der Achsenstab oder „Axostyl“ der Polymastiginen und Hypermastiginen wird entweder von einer einzelnen, verhältnismäßig dicken Fibrille gebildet (z. B. *Trichomonas*, Fig. 228, *Lophomonas*, Fig. 215) oder von einem ganzen Bündel feiner Fibrillen (z. B. *Devescovina*, Fig. 234, *Callonympha*, Fig. 235). Auch er wird stets bei der Teilung der Flagellaten eingeschmolzen und geht aus der Centrodesmose einer (hier extranukleären) Spindel wieder neu hervor.

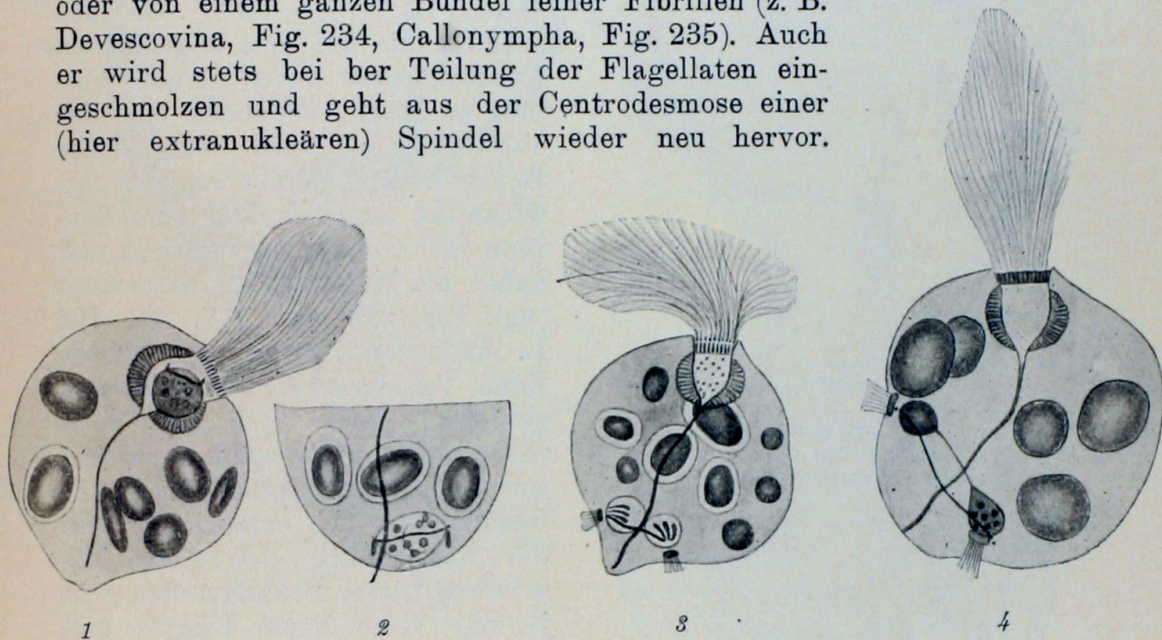


Fig. 215. *Lophomonas blattarum* STEIN. Bildung des Achsenstabes (Axostyl) bei der Teilung. 1 Anlage der extranukleären Teilungsspindel bei gleichzeitigem Austritt des Kernes aus dem Kelch (vgl. die Ruheform in Fig. 14). 2 Einstellung des Kernes am Hinterende des Flagellaten quer zu dessen Längsrichtung; an den Polen der Spindel die Centriolen und die Anlagen der neuen Basalkörperchen. 3 Kernteilungsstadium; Auftreten der Geißeln der beiden Tochterindividuen. 4 Ausgang der Kernteilung; die neuen Geißeln sind weiterentwickelt, die zwischen ihnen ausgespannte Centrodesmose der extranukleären Spindel wird bei der Teilung des Plasmakörpers später zu den beiden neuen Achsenstäben. Vergr. ca. 2000:1. Nach JANICKI 1912.

Allgemeingültig scheint zu sein, daß, entsprechend der Längsteilung des Flagellatenkörpers, die die neuen Achsenstäbe liefernde Teilungsspindel senkrecht zu dem Verlauf des alten Achsenstabes gerichtet ist. Im übrigen braucht der Fig. 215 nichts hinzugefügt zu werden, da hier auf die Art der Kernteilung nicht näher eingegangen werden kann.

3. Im Körper der Ciliaten finden sich elastische Fibrillen im Zusammenhang mit den Wimpern, deren Verankerung im Plasma sie dienen. Sie sind dementsprechend am kräftigsten und daher auch am

besten bekannt bei den kräftigsten Wimperorganen, den Membranellen und Cirren (vgl. deren Besprechung in dem Abschnitt über Bewegungsorganellen). Sie können aber darüber hinaus auch eine an die Achsenstäbe der Flagellaten erinnernde stützende Funktion für den ganzen Körper gewinnen. Dies scheint z. B. der Fall zu sein bei Balantidien, besonders dem großen *Bal. giganteum*, bei dem ein dichtes Bündel zahlreicher Fibrillen, von dem Peristom ausgehend, den ganzen Körper der Länge nach bis in die Nähe seines Hinterendes durchzieht (BEZZEN-

BERGER 1904). Es ist aber vor allem deutlich bei der eigenartigen *Licnophora*, deren Fibrillensystem besonders kompliziert erscheint und an der Hand von Fig. 216 und 217 kurz besprochen sei.

Der Körper der parasitisch lebenden *Licnophora*-arten trägt an seinem Hinterende eine große Haftscheibe, die mit dem abgeflachten Vorderkörper durch einen verjüngten Hals verbunden ist; der Vorderkörper wird auf seiner Bauchfläche von einer mächtig entwickelten adoralen Membranellenzone fast vollständig umzogen und daher als Mundscheibe bezeichnet (vgl. Fig. 216 und 217, A). Bei *L. macfarlandi* wird die adorale Zone von ca. 125 Membranellen gebildet, deren jede von einer dreieckigen annähernd senkrecht zur Körperoberfläche gestellten Basallamelle aus entspringt. Von der nach innen gewandten Zuspitzung dieser Basallamellen geht je eine feine kurze Fibrille aus, und alle diese einzelnen Fibrillen sind ähnlich wie bei *Stentor* (vgl. Fig. 243) durch eine kräftigere, längs der ganzen Membranellenzone verlaufende Basalfibrille miteinander verbunden. Am Anfang der adoralen Zone aber geht aus diesem Fibrillensystem eine dicke längsgestreifte „Halsfibrille“ hervor (vgl. Fig. 217, A

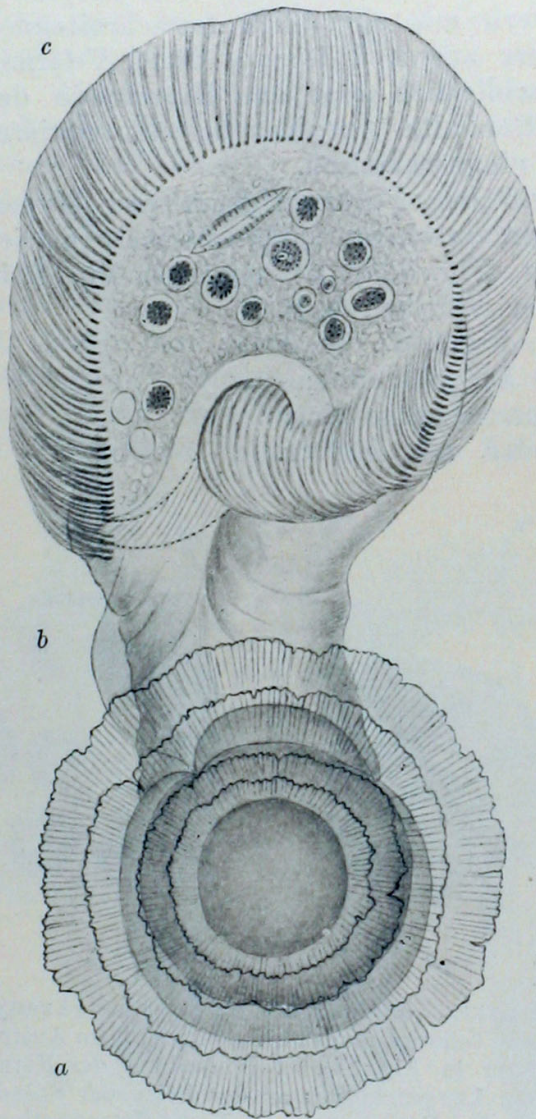


Fig. 216. *Licnophora macfarlandi* STEVENS. Ventralansicht nach dem Leben. a Haftscheibe, von vier „undulierenden Membranen“ kreisförmig umschlossen, b Hals, c Mundscheibe. Nach STEVENS 1904.

und B), die durch den Hals zum Zentrum der Haftscheibe verläuft, um sich dann auf dieser mit radiär gerichteten Verästelungen auszubreiten. Eine zweite dünnere Halsfibrille verläuft in S-förmiger Krümmung von der Gegend des Mundes aus ebenfalls durch den Hals zur Haftscheibe (Fig. 217, A und C). Durch Mazeration mit 1–3-prozentigem doppelt-chromsaurem Kali, Pepsin und anderen Mitteln läßt sich dieser ganze, ein förmliches Innenskelett bildende Fibrillenapparat unter Auflösung

von Plasma und Pellicula binnen weniger Sekunden unverändert isolieren (STEVENS 1901).

Sehr viel einfachere Verhältnisse bietet *Collinia branchiarum*, bei dem die Basalfibrillen der Wimpern einen an die Heliozoen erinnernden Einfluß auf die Erhaltung der Körperform ausüben dürften. Sie laufen nämlich, den Achsenfibrillen von *Actinophrys* vergleichbar, von den Basalkörperchen der einzelnen Wimpern in radiärer Richtung bis zu dem Makronucleus des Infusors (COLLIN 1909).

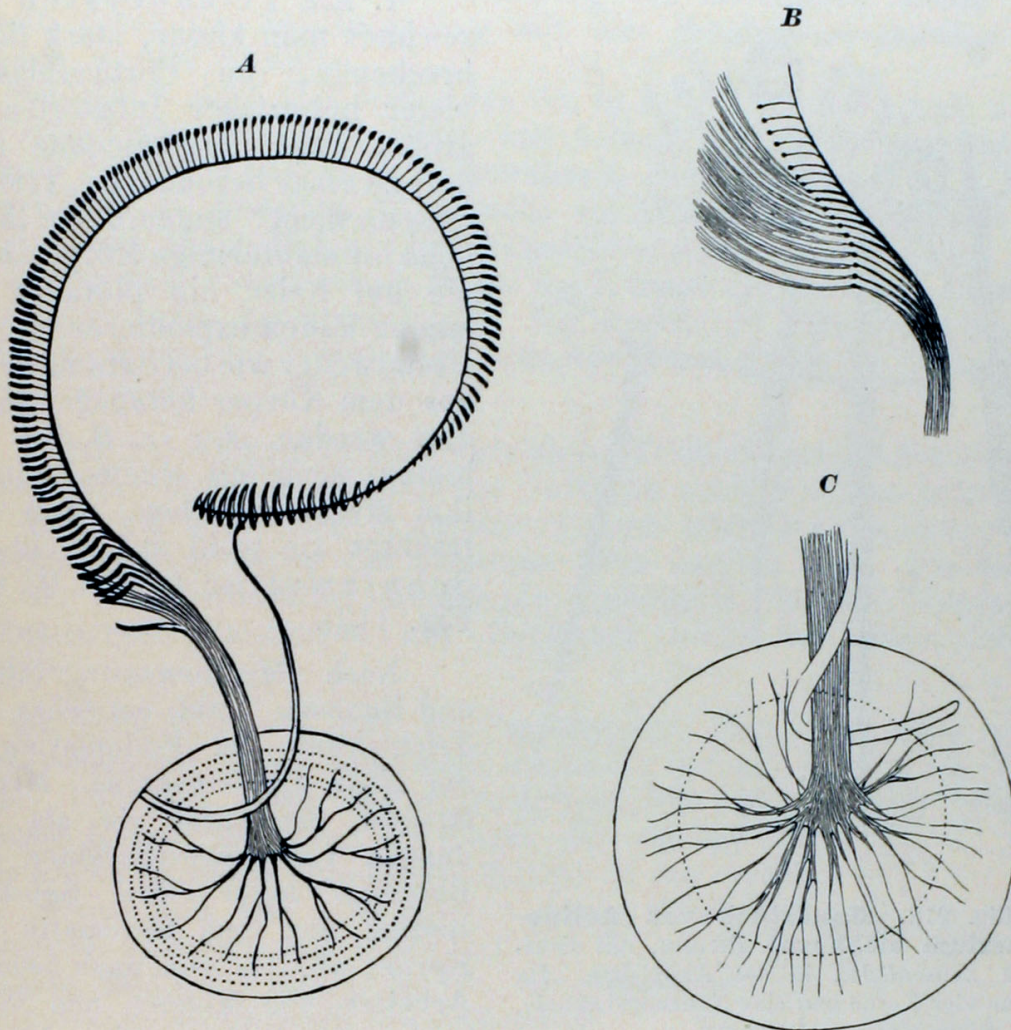


Fig. 217. **Licnophora macfarlandi** STEVENS. Elastischer Fibrillenapparat. **A** Rekonstruktion des ganzen Fibrillenapparates nach Mazerationspräparaten (vgl. die Abbildung des ganzen Tieres in Fig. 216). **B** Ein Teil der adoralen Membranellenzone mit dem Ursprung der dicken Halsfibrille. Schematisiert. **C** Die Endigung der beiden Halsfibrillen auf der Haftscheibe. Nach Mazeration mit Kali bichromicum. Nach STEVENS 1901.

4. Die Achsenfibrillen (Achsenfäden) der einzelnen Bewegungsorganellen (Axopodien und Undulipodien) werden noch bei Besprechung der letzteren zu behandeln sein. Hier sei deshalb nur angeführt, daß sie bei den Axopodien der Heliozoen besonders deutlich hervortreten als stark lichtbrechende, von dem umgebenden körnigen Plasma scharf abgegrenzte Bildungen (vgl. Fig. 218). Bei den Heliozoen wirken sie auch nicht nur auf die einzelnen Axopodien formbestimmend, sondern bedingen auch die charakteristische Gestalt des ganzen Protozoons, die dieser Gruppe den Namen der „Sonnentierchen“

eingetragen hat (vgl. Fig. 41, 42, 323). Auch wo eine Geißel als Randsaum einer undulierenden Membran ausgebildet ist, wirkt ihr Achsenfaden formbestimmend auf den ganzen Körper der Flagellaten (z. B. *Trypanosoma*).

6. Trichocysten und Nematocysten

sind alloplasmatische Schutzorganellen, die nur bei einzelnen Protozoenformen auftreten.

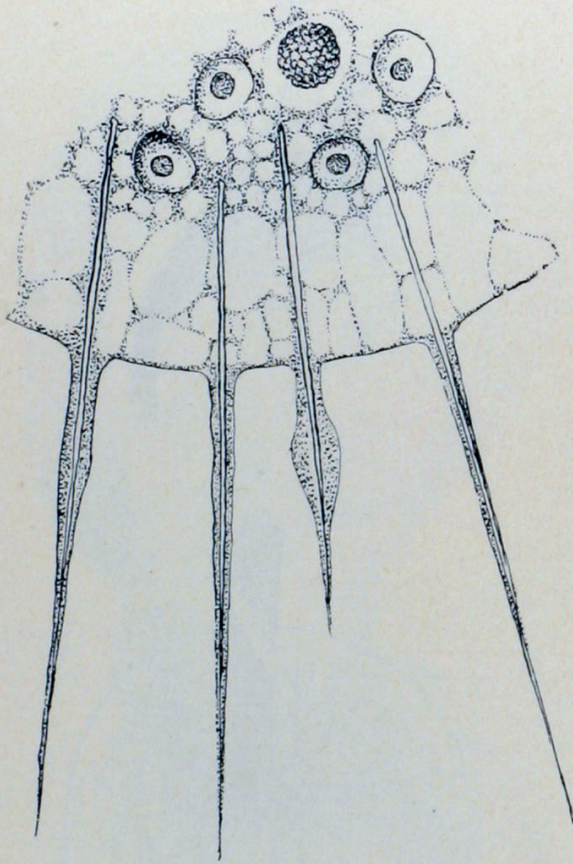


Fig. 218. Randstück von *Actinosphaerium eichhorni* EHRBG. mit deutlichen Achsenfäden in den Axopodien. Im Plasma vier Kerne und eine Nahrungsvakuole. Nach BÜTSCHLI aus DOFLEIN.

1. Als Trichocysten bezeichnet man kleine, stark lichtbrechende, im Corticalplasma vieler holotricher Infusorien in großer Zahl vorkommende und dort zu einer besonderen „Trichocystenschicht“ angeordnete längliche bis stabförmige Körperchen, die auf Reize hin plötzlich zu langen Fäden explodieren, wobei sie entweder wie bei *Paramecium* aus dem Körper ausgeschleudert werden oder (z. B. bei *Dileptus*) noch mit einem Ende in ihm stecken bleiben. Man betrachtet sie wohl mit Recht als Schutzwaffen (vgl. S. 93 und Fig. 113).

Nach MITROPHANOW (1905) und BRODSKY (1908) entstehen die Trichocysten im Endoplasma in der Nähe des Großkerns. MITROPHANOW betrachtet sie als Bildungen von Sekretcharakter und BRODSKY leitet ihre Substanz speziell von dem Chromatin des Kernes ab. Da nun nach neueren Arbeiten von MOROFF und WILL auch die Bildung der Nesselkapseln der Cnidarier als ein

Sekretionsvorgang aufzufassen ist, bei dem aus dem Kern auswandernde Chromidien eine Hauptrolle spielen, so kommt SCHERFFEL (1912) zu dem Schluß, daß die Trichocysten den morphologisch grundverschiedenen Nesselkapseln der Cölenteraten analog und „eigentlich wesensgleich“ seien.

Außer bei holotrichen Infusorien sind Trichocysten oder ihnen ähnelnde Bildungen nur vereinzelt gefunden, so bei der Heterotrichengattung *Strombidium* und dem Sauginfusor *Ophryodendron abietinum*. Unter den Flagellaten finden sie sich nach alten Beobachtungen bei der Chloromonadine *Gonyostomum semen*, sowie nach neueren Feststellungen von SCHERFFEL bei der primitiven, mit den Volvocaceen verwandten eingeißigen *Monomastix opisthostigma* am Hinterende, bei der Chrysomonade *Pleuromastix bacillifera* auf der „Ventralfläche“ und bei Cryptomonaden im Bereiche der Schlundsenkung. Auch bei diesen Flagellaten werden sie wie bei den Infusorien auf Reize (speziell chemische)

noch bei Lebzeiten der Zelle ausgestoßen. Sie dienen aber wohl kaum wie bei jenen als Verteidigungswaffen gegen feindliche Angriffe, könnten aber vielleicht, da sie wahrscheinlich aus einer Schleimsubstanz bestehen, „zur Bildung jener wenig konsistenten Gallerte beitragen, in der die Schwärmer unter Umständen nisten“ (SCHERFFEL).

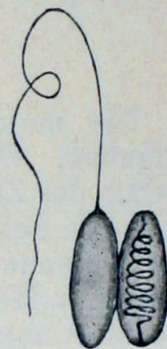
Den Trichocysten morphologisch vergleichbar sind offenbar auch die Trichiten, nadelförmige Plasmaeinschlüsse gewisser räuberischer holotricher Infusorien, die aber weniger eine schützende, als vielmehr eine offensive Bedeutung haben, der Lähmung von Beutetieren dienen und deshalb unten im Zusammenhang mit den Ernährungsorganellen besprochen werden müssen.

Schließlich sind hier auch noch die in ihrer Bedeutung noch ziemlich rätselhaften stäbchen-, nadel- und fadenförmigen Plasmaeinschlüsse gewisser Dinoflagellaten zu erwähnen. Bei *Podolampas* z. B. fand SCHÜTT stets an derselben Körperstelle ein Bündel dicht aneinander gelagerter sehr feiner Fäden. Bei Reizen lösen sich einzelne Fäden vom Bündel los und werden durch Poren der Körperhülle an deren hinterem Ende nach außen hervorgeschneit. Bei *Peridinium catenatum* konstatierte LEVANDER das Vorkommen ausschnellbarer Fäden an der ganzen Körperoberfläche.

2. Durch den angeführten Vergleich der Trichocysten mit den Nesselkapseln der Cnidarier gewinnt die Tatsache noch erhöhtes Interesse, daß auch bei Protozoen Nematocysten oder Nesselkapseln vorkommen, die denen der Cnidarier sehr ähnlich sind. Sie finden sich bei der Vorticellidè *Campanella umbellaria*, in den Dinoflagellatengattungen *Polykrikos* und *Pouchetia* sowie bei allen Cnidosporidien.

Bei *Campanella* sind die Nesselkapseln (Fig. 219) stets paarweise vorhanden, liegen aber nicht senkrecht, sondern parallel zur Oberfläche. Von dem einen, etwas stumpferen Pole der ei- oder bohnenförmigen Kapsel entspringt ein Faden, der wie bei den Cölenteraten zunächst eine kleine Strecke in der Achse nach hinten läuft und sich dann in engen Schraubenwindungen aufrollt. Auf Druck tritt er in der 8- bis 10-fachen Länge der Kapsel hervor, seine spontane Entladung wurde jedoch noch nie beobachtet.

Fig. 219. Ein Paar **Nematocysten** von ***Campanella umbellaria*** (L.) (rechts mit eingestülptem, links mit ausgestülptem Nessel-faden; die Pole beider Nesselkapseln entgegengesetzt gerichtet.). Nach BÜTSCHLI.



Noch höher entwickelt sind die Nesselkapseln von *Polykrikos*, die nur in geringer Zahl in dem Ektoplasma verteilt sind und bei denen ähnlich den größeren Kapseln der Cnidarier der eingestülpte Teil zunächst zu einer Art Vorhöhle entwickelt ist, in welche der basale Teil des in dichten Schraubenwindungen aufgerollten Fadens hineinragt. Wird die Kapsel durch Druck zur Explosion gebracht, so bildet die Vorhöhle scheinbar den vordersten Teil der Kapsel, von dem sich dann erst der ausgeschnellte Faden erhebt. Ähnlich gebaute Nesselkapseln fand DOGIEL (1906) auch bei *Pouchetia armata*; sie liegen hier in der Zahl von 10 oder mehr zwischen Kern und Körperwand, und die aus

ihnen hervorgeschleuderten Fäden sind 2—3mal so lang wie der ganze Körper des Dinoflagellaten.

Allgemein verbreitet sind endlich Nesselkapseln in Form der sogenannten Polkapseln in den ihretwegen als Cnidosporen bezeichneten Fortpflanzungskörpern der Cnidosporidien (Fig. 55), bei denen sie aber sicher keine schützende Funktion ausüben, sondern offenbar als Haftorganellen dienen, um den jungen Parasiten die Ansiedlung in ihrem Wirte zu erleichtern.

Anhang: Das Regenerationsvermögen der Protozoen.

Als eine schützende Fähigkeit ist bei Protozoen (wie bei den Metazoen) auch das weitverbreitete Vermögen der Regeneration zu bezeichnen. In dieser oder jener Weise verlorene Teile des Zellleibes werden regeneriert, vorausgesetzt, daß das zurückbleibende Bruchstück einen Kern oder doch wenigstens einen Teil des Kernes enthält und daß die Massen von Plasma und Kern in einem bestimmten, der Norm entsprechenden Verhältnis zueinander stehen (HERTWIGS Kernplasmarelation). Bruchstücke mit wenig Kernsubstanz und viel Plasma gehen ohne Regeneration zugrunde. Bruchstücke mit verhältnismäßig viel Kernsubstanz bei geringer Plasmamenge können unter Umständen durch Abstoßung und Resorption eines Teiles des Kernes die normale Kernplasmarelation wieder herstellen; geschieht dies jedoch nicht, so gehen auch sie ohne Regeneration zugrunde (POPOFF 1909, 1912).

Nach LILLIE (1896) entsprechen bei Stentor die kleinsten Teile, die noch regenerationsfähig sind, $\frac{1}{27}$ des Volumens des intakten Tieres (bei einem Durchmesser von $80\ \mu$ im kontrahierten Zustande). MORGAN beobachtete aber bei Stentor auch noch Regeneration von Bruchstücken, die nur noch $\frac{1}{64}$ des ganzen Tieres umfaßten.

Bei verschiedenen Arten ist das Regenerationsvermögen offenbar sehr verschieden groß (vgl. auch S. 117).

II. Bewegungsorganellen.

Die motorischen Organellen der Protozoen haben verschiedene Aufgaben. Sie dienen 1) zur Ortsbewegung, 2) zur Veränderung der Gestalt des Zelleibes oder einzelner Teile desselben, 3) zur vorübergehenden Festheftung an einer Unterlage (vgl. näheres hierüber in dem folgenden Abschnitt über Haftorganellen) und 4) zum Ergreifen oder zum Herbeistrudeln der Nahrung (vgl. näheres unten in dem Abschnitt über Ernährungsorganellen). Gewisse motorische Organellen können mehreren dieser Zwecke gleichzeitig dienen.

Man kann 2 Hauptkategorien von motorischen Organellen unterscheiden: 1) frei nach außen vorragende und 2) innere.

1. Frei nach außen vorragende Bewegungsorganellen.

Diese Organellen bilden klassifikatorische Merkmale ersten Ranges. Sie zerfallen in natürlicher Weise in 2 Kategorien, von denen die eine langsam formveränderliche, die andere rasch schwingende, im übrigen aber formbeständige Plasmafortsätze umfaßt. Die ersteren (Pseudopodien) sind für die Klasse der Sarcodinen, die letzteren (Undulipodien) für die Mastigophoren und Infusorien charakteristisch.

I. Die langsam formveränderlichen Bewegungsorganellen oder **Pseudopodien** sind keine dauernden Bildungen (vielleicht mit Ausnahme einzelner Axopodien), sondern können in verhältnismäßig raschem Wechsel vorgestreckt und eingezogen werden. Sie entstehen durch Vorfließen des Protoplasmas an beliebigen Stellen der freien Oberfläche und können je nach ihrer Form unterschieden werden in Lobopodien, Filopodien, Axopodien und retikuläre Pseudopodien.

1. Die Lobopodien oder amöboiden Fortsätze sind stumpfe, lappige bis fingerförmige Plasmafortsätze, an deren Bildung sich neben dem Ektoplasma häufig auch das Endoplasma beteiligt. Sie finden sich unter den Rhizopoden bei den Amöben und vielen beschalteten Amöbinen (z. B. *Diffugia*, *Arcella*), fließen langsam vor und treten ebenso langsam wieder zurück. Sie dienen der (amöboiden) Fortbewegung und der (amöboiden) Nahrungsaufnahme. (Näheres siehe in der monographischen Besprechung von *Amoeba*, S. 46 und 50—53¹⁾.)

2. Die Filopodien unterscheiden sich von den Lobopodien nur graduell, indem sie länger und spitz-fadenförmig sind. Sie sind ebenso wenig wie die Lobopodien zur Verschmelzung geneigt (nur in sehr seltenen Fällen bilden sich bei Filopodien vorübergehende Anastomosen) und lassen ebensowenig wie diese eine Körnchenströmung erkennen. Sie finden sich bei manchen beschalteten Amöbinen (z. B. *Euglypha*, *Cyphoderia*, *Pseudodiffugia*), die deswegen als „Filosa“ in einen systematischen Gegensatz zu den Lobopodien besitzenden „Lobosa“ gestellt werden. Bei einzelnen Arten entspringen sie von einem gemeinsamen „Pseudopodienstiel“ (Fig. 220) oder sind an ihrer Basis durch schwimnhautartige Plasmaverbreiterungen verbunden (Fig. 221).

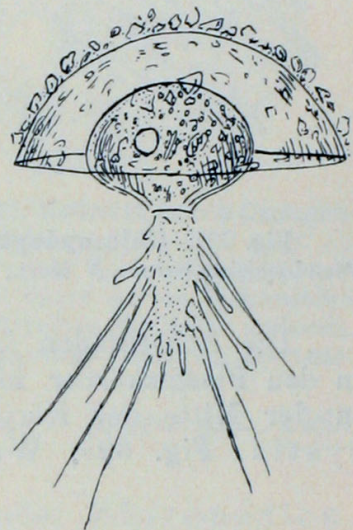


Fig. 220. **Frenzelina reniformis** PEN. Seitenansicht, mit Pseudopodienstiel. Nach PENARD 1902.

3. Die Axopodien, welche für die Heliozoen charakteristisch sind, sich aber außerdem auch noch neben retikulären Pseudopodien bei manchen Acantharien finden, sind durch den Besitz eines festen, elastischen Achsenfadens charakterisiert (vgl. auch S. 215). Sie strahlen in ziemlich regelmäßiger Verteilung allseitig vom Plasmakörper aus und sind sehr dünn und fein, wenig zur Anastomosenbildung geneigt und relativ starr. Die dünne, den Achsenfaden umschließende Plasmanschicht erscheint feinkörnig und ihre Körnchen finden sich in dauernder, langsam strömender Bewegung. Die Axopodien sind dauerhafter als die rasch wechselnden anderen Pseudopodienformen, aber auch sie können eingezogen werden; hierbei wird dann auch der Achsenfaden rückgebildet und verschwindet, anscheinend durch Auflösung in dem

1) Auf S. 53 ist ein bedauerliches Versehen untergelaufen. Sollte etwa die Bewegung der Amöben mit Volumveränderungen verbunden sein, so würde sie hierdurch natürlich noch mehr in Gegensatz zu den auf Kontraktion beruhenden Bewegungen treten, da ja bekanntlich der sich kontrahierende Muskel sein Volum nicht verändert.

ihn umgebenden Protoplasma. Bei der Bildung neuer Axopodien muß sich dann auch der Achsenfaden von neuem differenzieren.

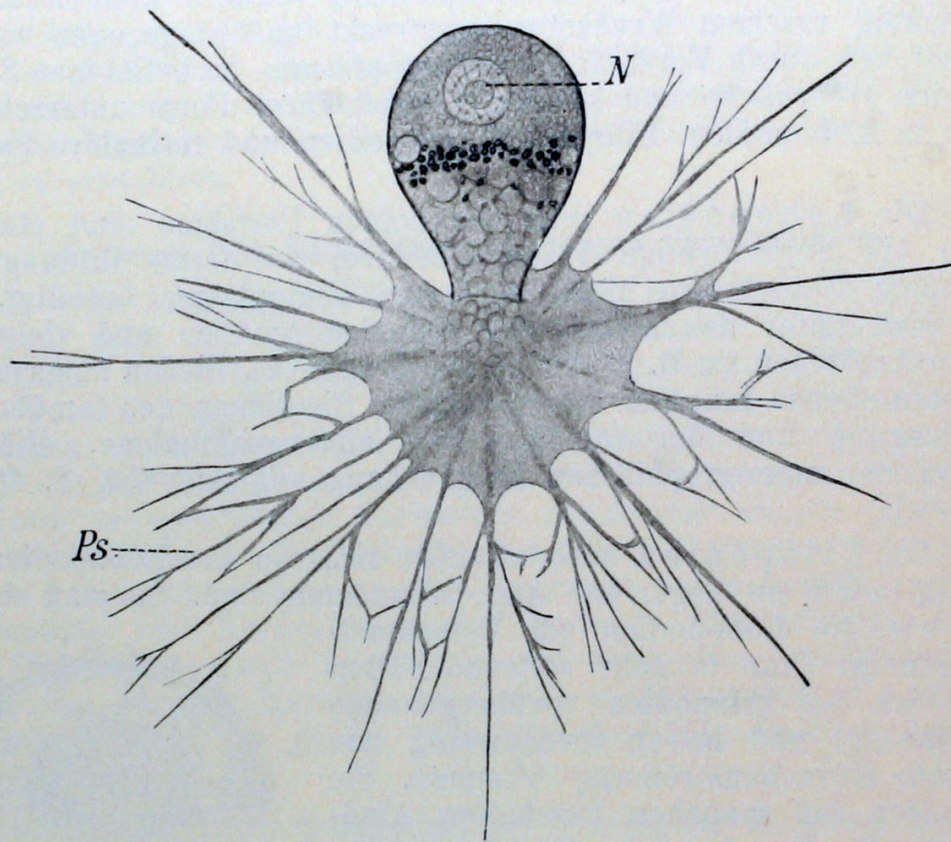


Fig. 221. **Chlamydothrys stercorea** (CIENK.). Süßwasser-Rhizopode mit dünner Pseudochitinschale. *N* Kern, *Ps* Pseudopodien. Nach SCHAUDINN aus DOFLEIN.

Die Achsenfäden lassen sich von den Pseudopodien aus noch weit in den Plasmakörper hinein verfolgen, häufig bis zu einem besonderen, in der Mitte des Körpers gelegenen „Zentralkorn“ (z. B. *Acanthocystis*, Fig. 323, *Wagnerella*, Fig. 261). Fehlt ein solches, so

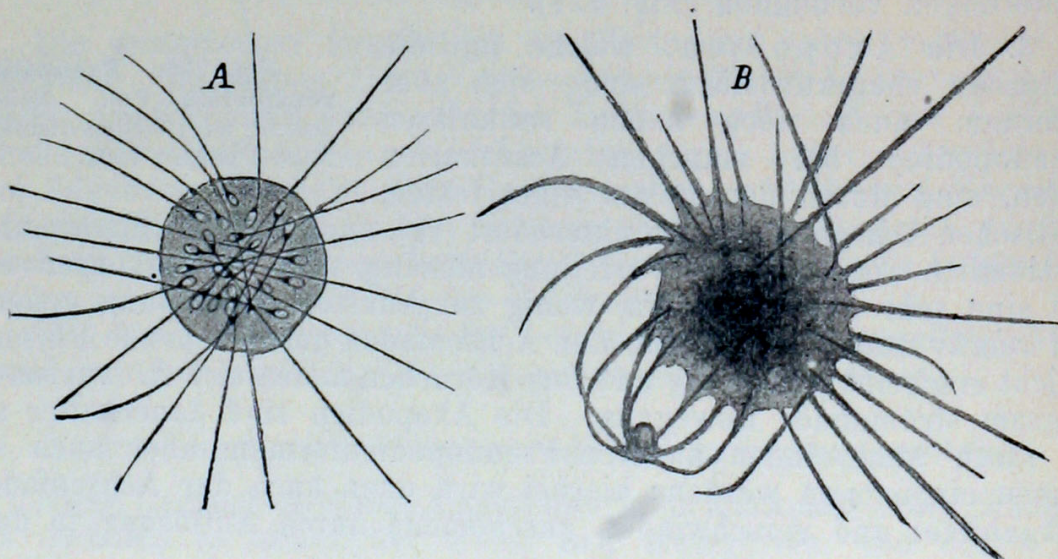


Fig. 222. **Camptonema nutans** SCHAUD. (marin, Durchmesser 0,12—0,18 mm). *A* Schematische Rekonstruktion des Tieres, um die Verteilung der Kerne und den Ansatz der Axopodien an ihnen zu zeigen. *B* Das Tier, nach dem Leben gezeichnet, hat eine einzellige Alge mit den Pseudopodien ergriffen. Nach SCHAUDINN 1894.

strahlen die Achsenfäden von dem zentral gelegenen Kern aus (z. B. *Actinophrys*, Fig. 41) bzw. bei Vielzahl der Kerne entweder von je einem dieser Kerne (Fig. 222 und 223) oder anscheinend von freien Endigungen zwischen den Kernen im Plasma (z. B. *Actinosphaerium*, Fig. 218).

Die Axopodien von *Camptonema nutans* SCHAUD. sind dadurch merkwürdig, daß sie, unabhängig von der gewöhnlichen Körnchenströmung, die ihnen nicht fehlt, drehende Bewegungen auszuführen vermögen und ferner noch die Fähigkeit haben, bei Berührung umzuknicken und hierdurch „Fangbewegungen“ auszuführen (Fig. 222). Ähnliche Bewegungen beobachtete ZÜLZER (1909) auch bei *Wagnerella borealis*.

ENGELMANN (1881) beobachtete bei einem Heliozoon (*Acanthocystis*) blitzschnelle, an Muskelfibrillen erinnernde Kontraktion fadenförmiger, gerader und unverzweigter Pseudopodien und brachte diese Pseudopodien unter der Bezeichnung Myopodien in einen Gegensatz zu anderen, weniger rasch kontraktile Pseudopodien. Eine neuere Bestätigung dieser Beobachtung liegt jedoch nicht vor und die nur gradweise verschiedene Geschwindigkeit der Kontraktion verschiedener Axopodien läßt einen derartigen Gegensatz kaum als gerechtfertigt erscheinen.

Bei *Actinosphaerium arachnoideum* PENARD (1904) kommen neben typischen Axopodien noch andere fadenförmige, anastomosierende Pseudopodien ohne Achsenfaden vor, und auch bei *Pinaciophora* und *Pompholyxophrys* finden sich nicht selten neben den Axopodien typische Filopodien.

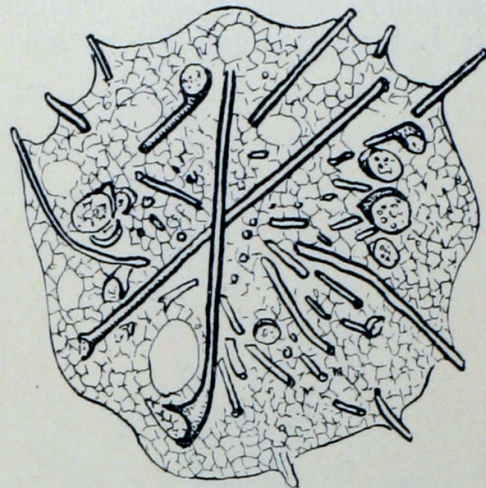


Fig. 223. Schnitt durch *Camptonema nutans* SCHAUD., zeigt die kappenartigen Verbreiterungen, mit denen bei dieser Art die Achsenfäden der Pseudopodien die Kerne umfassen. Nach SCHAUDINN (1894) aus DOFLEIN.

4. Die retikulären Pseudopodien oder Rhizopodien, für Foraminiferen und Radiolarien charakteristisch, sind äußerst lange und feine, haarförmige, nach allen Seiten ausstrahlende, klebrige, meist zur Verschmelzung und Netzbildung geneigte Protoplasmafortsätze ohne Achsenfaden, die langsam vorgestreckt und ebenso langsam zurückgezogen werden können und dauernde Körnchenströmung erkennen lassen (vgl. Fig. 26). Bei den Pseudopodien der Radiolarien ist die Neigung zur Netzbildung im allgemeinen wesentlich geringer als bei denen der Foraminiferen.

Bei den Radiolarien sowie bei denjenigen Foraminiferen, die gleich den Radiolarien pelagisch leben, wie *Globigerina*, *Hastigerina*, oder auf einer Unterlage festgewachsen sind, wie *Haliophysema*, *Polytrema* und viele andere, dienen die Pseudopodien nur noch zur Nahrungsaufnahme und nicht mehr zur aktiven Lokomotion. Immerhin können sie, wenn sie sich an der ganzen Körperoberfläche zurückziehen, durch Verminderung des Reibungswiderstandes ein Sinken des im Wasser flottierenden Tieres herbeiführen. Die gleiche Beschränkung der Funktion auf die Nahrungsaufnahme gilt auch für die Axopodien der Heliozoen.

Vorkommen von Pseudopodien außerhalb der Klasse der Sarcodina. Wenn auch, wie bereits oben erwähnt wurde, die Pseudopodien charakteristisch sind für die Sarcodinen, so sind sie doch keineswegs in ihrem Vorkommen auf diese Klasse beschränkt.

Vor allem sind Pseudopodien die einzigen und charakteristischen motorischen Organellen derjenigen Cnidosporidien, welche überhaupt im erwachsenen Zustande einer Lokomotion fähig sind, d. h. vor allem derjenigen Myxosporidien, die frei in Hohlorganen (Harn- oder Gallenblase von Fischen und Amphibien) schmarotzen. Die Pseudopodien, mit Hilfe deren diese Formen sich bewegen und die einen der Gründe liefern, die die hypothetische Ableitung der Cnidosporidien von Sarcodinen rechtfertigen, erinnern in Form und Verhalten durchaus an die Lobpodien und Filopodien der Amöbinen. Einzelne Arten bilden

breitlappige Pseudopodien, an deren Bildung sich auch das Endoplasma mitbeteiligt, andere schlanke fadenförmige, nur aus Ektoplasma gebildete Pseudopodien. Retikuläre Verschmelzung von Pseudopodien ist aber bei Myxosporidien noch nie beobachtet. Bei einzelnen Myxosporidien (*Leptotheca agilis* und *Myxidium giganteum*) sollen die Pseudopodien nach DOFLEIN (1898) eine Stemmwirkung ausüben können, die die Tiere nach der entgegengesetzten Richtung vorwärts schiebt. Auch bei einzelnen Microsporidien ist amöboide Beweglichkeit festgestellt worden, vor allem bei der im Lumen der MALPIGHISCHEN Gefäße von *Periplaneta orientalis*

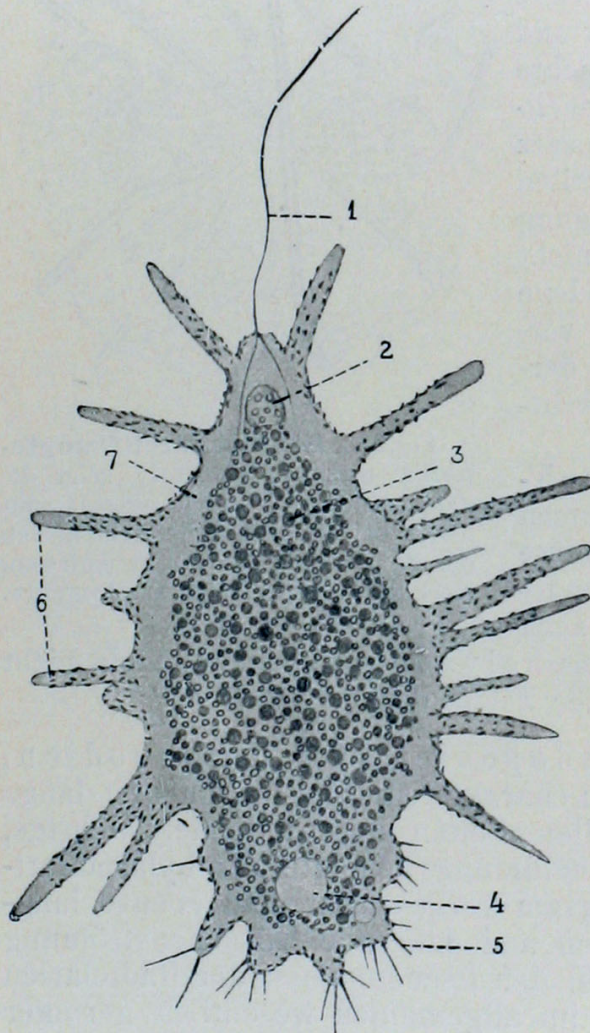


Fig. 224. **Mastigamoeba aspera**. F. E. SCH. Länge 100 μ . Süßwasser. 1 Geißel, 2 Kern, 3 Endoplasma, 4 pulsierende Vakuole, 5 feine, spitze, unbewegliche Fortsätze, 6 Pseudopodien, 7 Ektoplasma, von winzig kleinen, stäbchenförmigen Körperchen bedeckt. Nach F. E. SCHULZE 1875.

schmarotzenden Pleistophora periplanetae. Allgemein findet sie sich ferner bei den eben ihretwegen als Amöboidkeim bezeichneten Jugendformen der Cnidosporidien.

Bei Flagellaten ist Pseudopodienbildung keineswegs selten, wenn auch auf Formen mit nur schwach entwickeltem Periplast beschränkt. Ist der Periplast zu derb um Pseudopodienbildung zuzulassen (z. B. bei *Euglena*), so wird diese zunächst ersetzt durch die sogenannten metabolischen Bewegungen, die in unregelmäßigen (meist peristaltischen), aber sehr ausgiebigen Kontraktionen des Körpers bestehen, aber bei

weiter zunehmender Derbheit des Periplastes auch mehr und mehr eingeschränkt werden.

A

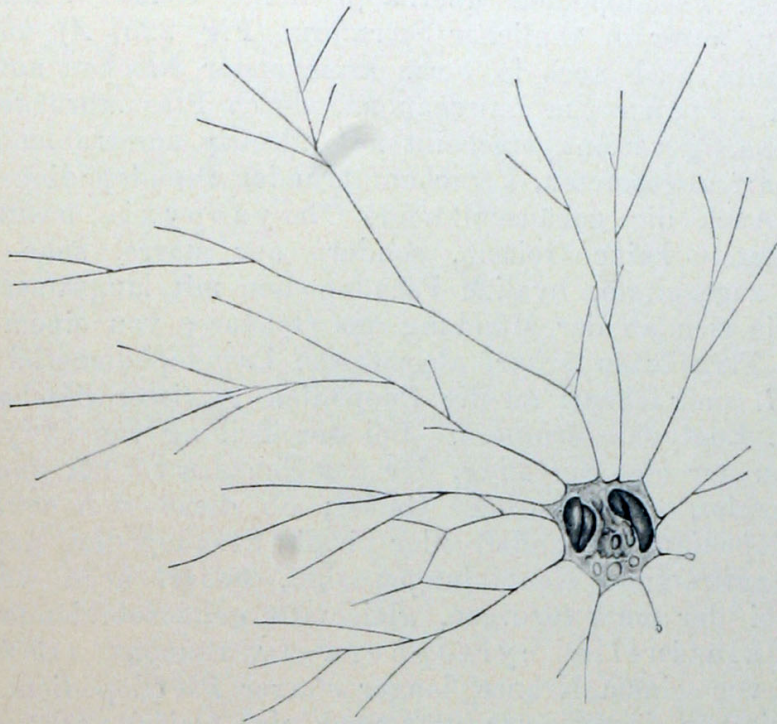
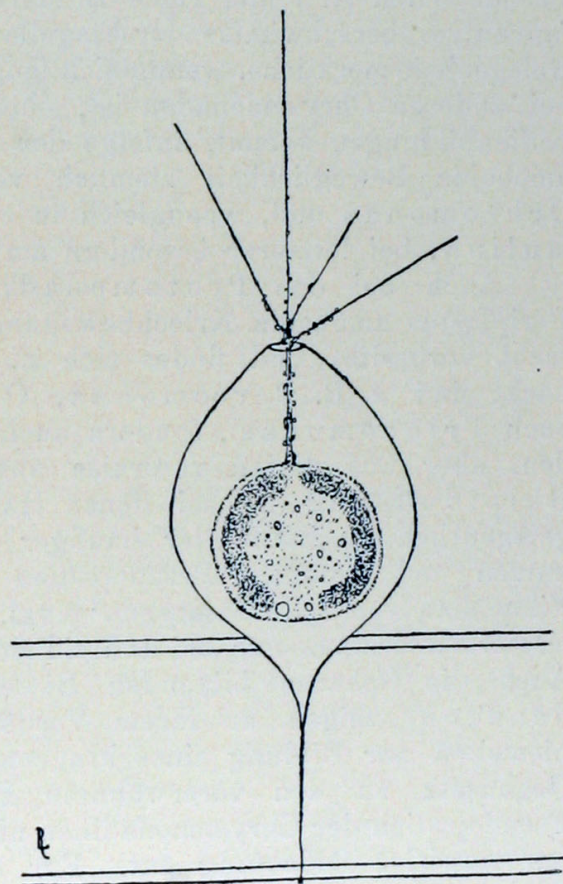


Fig. 225. **Pseudopodienbildung bei Chrysomonadinen.** **A Synruvella** mit sehr stark ausgebildeten Rhizopodien. (Dieselbe Art kann außer in typischer Flagellatenform auch in der Form gewöhnlicher Amöben mit kurzen Lobopodien auftreten.) Vergr. 1000:1. Nach PASCHER 1912. **B Chrysopyxis stenostoma.** Höhe 18—22 μ . In Torfgruben. Das Gehäuse haftet in einer Art Reitstellung auf einem Algenfaden, der von einem fadenförmigen Fortsatz des Gehäuses ringförmig umfaßt wird. Nach LAUTERBORN 1911.

B



Direkt charakteristisch neben der in Ein- oder Zweizahl vorhandenen Geißel sind die (meist stumpflappigen) Pseudopodien für die anscheinend niederste Ordnung der Flagellaten, die Rhizomastiginen (Fig. 2 und 224). Eine nicht minder wichtige Rolle spielen aber fadenförmige (seltener stumpflappige) Pseudopodien auch bei manchen Chrysomonadinen, die besonderes Interesse verdienen. Nach PASCHER (1912)

handelt es sich hierbei stets um sekundäre Erwerbungen zugunsten animalischer Nahrungsaufnahme. Chrysamoeba radians z. B. schwimmt

bald in Eiform mit ihrer Geißel umher, bald beginnt sie mit Hilfe zahlreicher sternförmig ausgestreckter spitzer Filopodien zu kriechen (Fig. 15, A) und bei einer anderen *Chrysamoeba*-Art fand LAUTERBORN (1911) neben spitzen Pseudopodien überhaupt keine Geißel mehr. *Synura uvella* tritt außer in ähnlicher Sternform (Fig. 225, A) und typischer Flagellatenform auch noch in Form kriechender Amöben auf. *Chrysastridium catenatum* LAUTERBORN, durch Plasmabrücken meist zu vierten kettenartig vereint, erscheint mit allseitig ausstrahlenden, äußerst dünnen, scharf abgesetzten, körnchenführenden Pseudopodien ganz heliozoenartig. Auch die gehäusebildende *Chrysopyxis* besitzt im vegetativen Zustande keine Geißeln, sondern nur starre, sehr dünne und äußerst fein zugespitzte, hyaline Pseudopodien mit langsamer Körnchenströmung, die sich an der Mündung des Gehäuses von einem gegen den Körper des Flagellaten scharf abgesetzten Pseudopodienstiel abzweigen (Fig. 225, B) und lebhaft an die Filopodien gewisser beschalter Rhizopoden (z. B. *Euglypha*) erinnern. Bei der Teilung von *Chrysopyxis* besitzt dagegen der eine Sprößling, der das Gehäuse verläßt und eine neue Hülle abscheidet, eine deutliche Geißel; ob diese sich etwa später zu einem Pseudopodium umwandelt oder ob die Pseudopodien nach Schwund der Geißel auftretende Neubildungen sind, bedarf noch weiterer Aufklärung. Bei der merkwürdigen, gleichfalls gehäusebildenden und fest-sitzenden *Palatinella cyrtophora* LAUTERBORN (1906) ist das Vorderende von einem Kranze langer starrer Pseudopodien reusenartig umstellt, zwischen denen zwar stets noch eine Geißel vorhanden ist, die aber bei ihrer Kleinheit einen ganz rudimentären Eindruck macht; die Pseudopodien sind hier reine Ernährungsorganellen, indem sie zum Einfangen vorüberschwimmender Flagellaten dienen und auch nur bei dieser Gelegenheit merkliche, wenngleich langsame Bewegungen ausführen. Auch bei anderen Chrysomonaden ist, ohne daß es zu so auffälligen Pseudopodienbildungen kommt, infolge der Zartheit des Periplastes fakultative amöboide Beweglichkeit ziemlich verbreitet (sehr deutlich z. B. bei *Ochromonas* und, wenngleich in etwas geringerem Grade, bei *Chromulina*, bei letzterer besonders am Hinterende).

Auch bei den Protomonadinen ist infolge der Zartheit des Periplastes amöboide Kriechbewegung mit Hilfe kurzer Lobopodien noch recht verbreitet und findet sich nicht nur bei Formen, die zeitlebens nackt sind (z. B. *Cercomonas*, *Oecomonas*, in geringerem Grade auch *Trichomonas*), sondern auch bei solchen, die Gallerthüllen bilden, aber aus diesen zeitweise austreten, wie *Spongomonas* und *Rhipidodendron*, bei denen HARTMANN und CHAGAS (1909) sogar gelegentlich an Stelle der häufiger neben den Geißeln vorkommenden kurzen und stumpfen Pseudopodien die Bildung langer fadenförmiger Filopodien vom „Radiosatypus“ (vgl. S. 47 und Fig. 71) beobachteten, letztere allerdings nur bei Individuen, die ihre Geißeln verloren hatten. Auch die Gehäuse bildenden Bicöciden (*Bicosoeca*, *Poteriodendron*) zeigen an ihrem Vorderende amöboide Beweglichkeit, die bisweilen zur Bildung eines kragenartigen Saumes führen kann und im Gegensatz zu den vorerwähnten Fällen gleich den oben erwähnten Pseudopodien der Chrysomonadinen nicht lokomotorische, sondern offenbar nur nutritive Bedeutung hat. Für die Craspedomonaden hat besonders FRANCÉ (1897) Angaben über die bei den verschiedensten Formen beobachtete Bildung langer Lobopodien gemacht, die zum Teil in den Dienst der Nahrungsaufnahme zu treten, zum Teil aber auch eine Begleiterscheinung des Absterbens zu sein scheinen.

Unter den Binucleaten findet sich Pseudopodienbildung vor allem bei den geißellosen, in roten Blutkörperchen schmarotzenden, früher zu den Sporozoen gerechneten Plasmodiden (*Plasmodium*, *Proteosoma*), für die die amöboide Bewegung so charakteristisch ist, daß sie von GRASSI den Namen *Haemamoeba* erhielten. Am lebhaftesten ist diese Bewegung bei dem eben deshalb so genannten *Plasmodium vivax*, dem Tertianparasiten des Menschen (Fig. 137, 5). Die physiologische Bedeutung dieser Bewegungserscheinungen ist aber, da die Parasiten das befallene Blutkörperchen ja nicht verlassen, wohl auch mehr nutritiv als lokomotorisch.

Als Beispiel für amöboide Beweglichkeit bei Chloromonadinen sei *Chloramoeba* genannt. Bei den Cryptomonadinen und den Euglenoiden fehlt dagegen amöboide Beweglichkeit infolge des derberen Periplastes und ebensowenig ist sie von Cystoflagellaten bekannt. Dagegen kommt sie wieder bei einigen Dinoflagellaten vor: bei *Gymnodinium* steht sie im Dienste der animalischen Nahrungsaufnahme und bei *Podolampas* beobachtete SCHÜTT (1895), wenn der Flagellat einige Zeit unter dem Deckglase gehalten war, das Hervortreten einer amöboid beweglichen Plasmamasse aus der Geißelspalte, das nach einer Vermutung von SCHÜTT, obwohl alle Dinoflagellaten unter dem Deckglase rasch erkranken und absterben, doch vielleicht auch im normalen Leben zur vorübergehenden Anheftung an ein Substrat eine Rolle spielen könnte, nach einer weiteren Vermutung von LANG vielleicht auch zur Nahrungsaufnahme dient.

Unter den Infusorien kommt Pseudopodienbildung ebenfalls vor, aber nur sehr vereinzelt, und zwar dienen dann die Pseudopodien als Haftorganellen, z. B. bei *Stentor*; auch die sogenannten „Tentakel“ von *Actinobolus* gehören hierher, eigenartige Ernährungsorganellen, die auf Grund ursprünglicher Haftfunktion zum Einfangen der Nahrung dienen. Näheres folgt in den Abschnitten über Haft- und Ernährungsorganellen.

II. Die schwingend beweglichen Bewegungsorganellen oder **Undulipodien** sind im Gegensatz zu den Pseudopodien formbeständig, d. h. sie verändern bei ihren Bewegungen weder ihre Länge noch ihre Dicke. Man unterscheidet seit alters her Geißeln (Flagellen), die verhältnismäßig lang, häufig weit länger als der Körper, dafür aber sehr wenig zahlreich sind, und Wimpern (Cilien), die nur kurz, stets weit kürzer als der Körper, dafür aber um so zahlreicher sind. Geißeln sind für die Mastigophoren, Cilien für die Infusorien charakteristisch. Beide Formen von Bewegungsorganellen sind aber im Prinzip analog gebaut — durch den anscheinenden Besitz eines elastischen, von einem kontraktilen Plasmamantel umhüllten Achsenfadens schließen sie sich auch an die Axopodien der Heliozoen an — und eine scharfe Unterscheidung zwischen ihnen ist nicht immer möglich, wie namentlich die neuerdings von GRASSI (1911) als *Hypermastiginen* bezeichneten *Trichonymphen* zeigen, deren Undulipodien meist ihrer beträchtlichen Länge wegen, sowie auch wegen der offenbaren (nur von HARTMANN 1910 angezweifelte) Zugehörigkeit der *Trichonymphen* zu den Flagellaten als Geißeln bezeichnet werden ungeachtet ihrer an Cilien erinnernden großen Zahl.

1. Die **Geißeln** oder **Flagellen** der Mastigophoren sind sehr feine, in ihrem ganzen Verlaufe nahezu gleichdicke, fadenförmige Plasma-

fortsätze des Körpers von verhältnismäßig erheblicher Länge, die fast stets an dem bei der Bewegung vorangehenden Körperende entspringen. Meist sind ihrer nur 1 oder 2 vorhanden, sehr viel seltener 3, 4, 5, 6 oder 8; nur die Hypermastiginen (Trichonymphen) besitzen, wie bereits erwähnt, zahlreiche Geißeln.

Formen der Geißeln. Ist nur eine Geißel vorhanden, so ist diese meist als Schwimmgeißel vorausgerichtet, zieht also den Körper nach. Sind mehrere Geißeln vorhanden, so können diese gleichgestaltet sein (bei Trichonymphen und auch sehr häufig bei zweigeißeligen Flagellaten); daß trotzdem schon eine physiologische Differenzierung eingetreten sein kann, beweist die Tatsache, daß bei *Chilomonas paramecium* nur eine der beiden gleichlangen Geißeln positiv thigmotaktisch ist (vgl. den Abschnitt über Haftorganellen). Sehr häufig treten aber auch morphologische Unterschiede auf, denen zweifellos eine physiologische Verschiedenheit entspricht. Man spricht dann von Heteromastigie, und daß diese heteromastiginen Flagellaten, die sich auf fast alle Ordnungen verteilen, sich aus isomastiginen Formen heraus differenziert haben, dafür spricht außer dem eben erwähnten Verhalten von *Chilomonas* auch das Vorkommen von Formen, bei denen die morphologische Verschiedenheit der Geißeln noch gering ist und keinerlei Rückwirkung auf die noch völlig erhaltene Symmetrie der ganzen Zelle ausgeübt hat, während stärkere Heteromastigie meist mit asymmetrischem Zellbau verbunden ist (vgl. z. B. Fig. 315).

Bei Verschiedenheit der Geißeln bezeichnet man als

1. Hauptgeißeln: lange, in der Bewegungsrichtung meist nach vorn oder auch während der Vorwärtsbewegung seitlich gerichtete

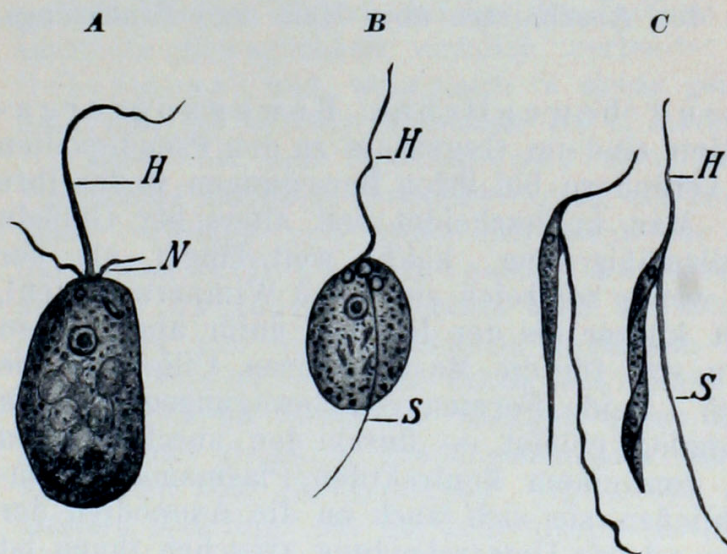


Fig. 226. Flagellaten mit verschiedenen Geißeln. A *Monas vivipara* EHRBG. B *Bodo ovatus* (DUJ.). C *Bodo gracilis* STEIN. H Hauptgeißel, N Nebengeißel, S Schleppgeißel. Nach STEIN aus DOFLEIN.

Geißeln; neben anderen Geißelformen meist in der Ein-, sehr viel seltener (z. B. bei *Trichomastix* und *Trichomonas*) in der Mehrzahl vorhanden.

2. Nebengeißeln: kleinere, in der Ein- oder Mehrzahl neben einer Hauptgeißel stehende Geißeln (Fig. 226, A).

3. Schleppgeißeln: meist verhältnismäßig lange Geißeln, die am Vorderende (meist ein wenig hinter der Hauptgeißel) entspringen

und nach hinten gerichtet beim Schwimmen nachgeschleppt werden (Fig. 226, B und C). Meist sind sie leicht wellig gekrümmt. Häufig bewegungslos oder doch nur ganz schwache Bewegungen ausführend, können sie plötzlich einmal in Wirksamkeit treten und durch schla-

gende Bewegungen die Schwimmrichtung ändern. Ihre Funktion entspricht offenbar im wesentlichen einem Steuerruder; sie können aber auch sich an einem Fremdkörper anheften und dadurch den Körper vorübergehend vor Anker legen.

Eine lange Schleppgeißel findet sich bei *Cercobodo*, den Bodonaceen (Fig. 226, C), *Prowazekia* (Fig. 9), *Anisonema*, *Entosiphon*, *Dinema*, *Nephroselmis* (deren morphologische Längsachse quer zu der Richtung des Schwimmens oder Kriechens steht), sowie *Trichomastix* und *Devescovina* (hier neben drei Hauptgeißeln, Fig. 234). Zwei Schleppgeißeln haben *Dallingeria* und *Trimastix* neben einer Hauptgeißel, sowie *Hexamitus* (Fig. 8) und *Urophagus* neben 6 Hauptgeißeln. Bei *Trimastix* sind die Schleppgeißeln auch unter sich ungleich, indem nur eine ganz frei ist, die andere dagegen bis zu ihrer Mitte in einer Längsfurche des Körpers liegt.

In der Regel ist die Schleppgeißel merklich länger als die Hauptgeißel, nur bei *Trimastix* sind alle Geißeln nahezu gleich lang. Eine sehr kurze nach hinten gewandte Geißel neben viel längerer Hauptgeißel findet sich dagegen bei einigen Euglenoideen

(*Sphenomonas*, *Heteronema*, *Tropidoscyphus* [Fig. 227], *Notosolenus* [Fig. 315]), die sich mit schief aufwärts gerichteter Körperachse gleitend oder kriechend vorwärtsbewegen; diese kurze Geißel unterscheidet sich jedoch von den typischen, wenig bewegten Schleppgeißeln auch durch ihre kräftigen Pendelbewegungen.

Bei *Ancyromonas* entspricht die einzige Geißel, die in geschlängeltem Verlaufe nach rückwärts gerichtet ist, mehr einer Schleppgeißel, wie der Schwimmgeißel der anderen eingeißeligen Flagellaten.

4. Undulierende Membranen: eigenartige Bewegungsorganellen, die sich ausschließlich bei parasitischen Flagellaten finden und stets nur in der Einzahl vorkommen, und zwar nicht nur neben mehreren (bei *Trichomonas*, Fig. 228) oder einer einzigen Hauptgeißel (bei *Trypanoplasma*, Fig. 11 und 229), sondern auch als einzige Bewegungsorganelle (bei *Trypanosoma*, Fig. 229, A). Sie entstehen dadurch, daß eine

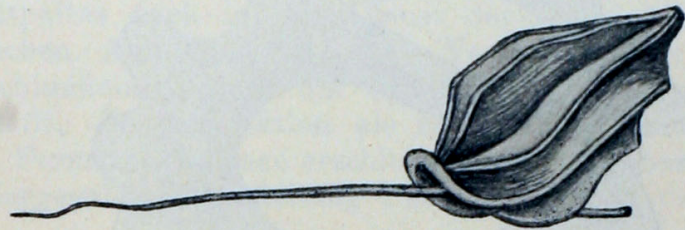


Fig. 227. *Tropidoscyphus cyclostomus* SENN, linke Seitenansicht. Vergr. 2000:1. Nach SENN.

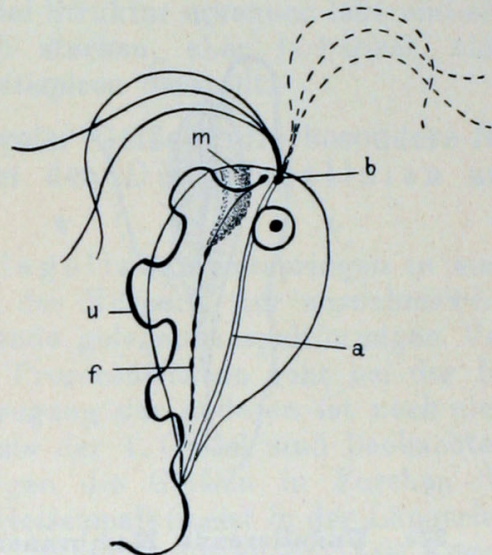
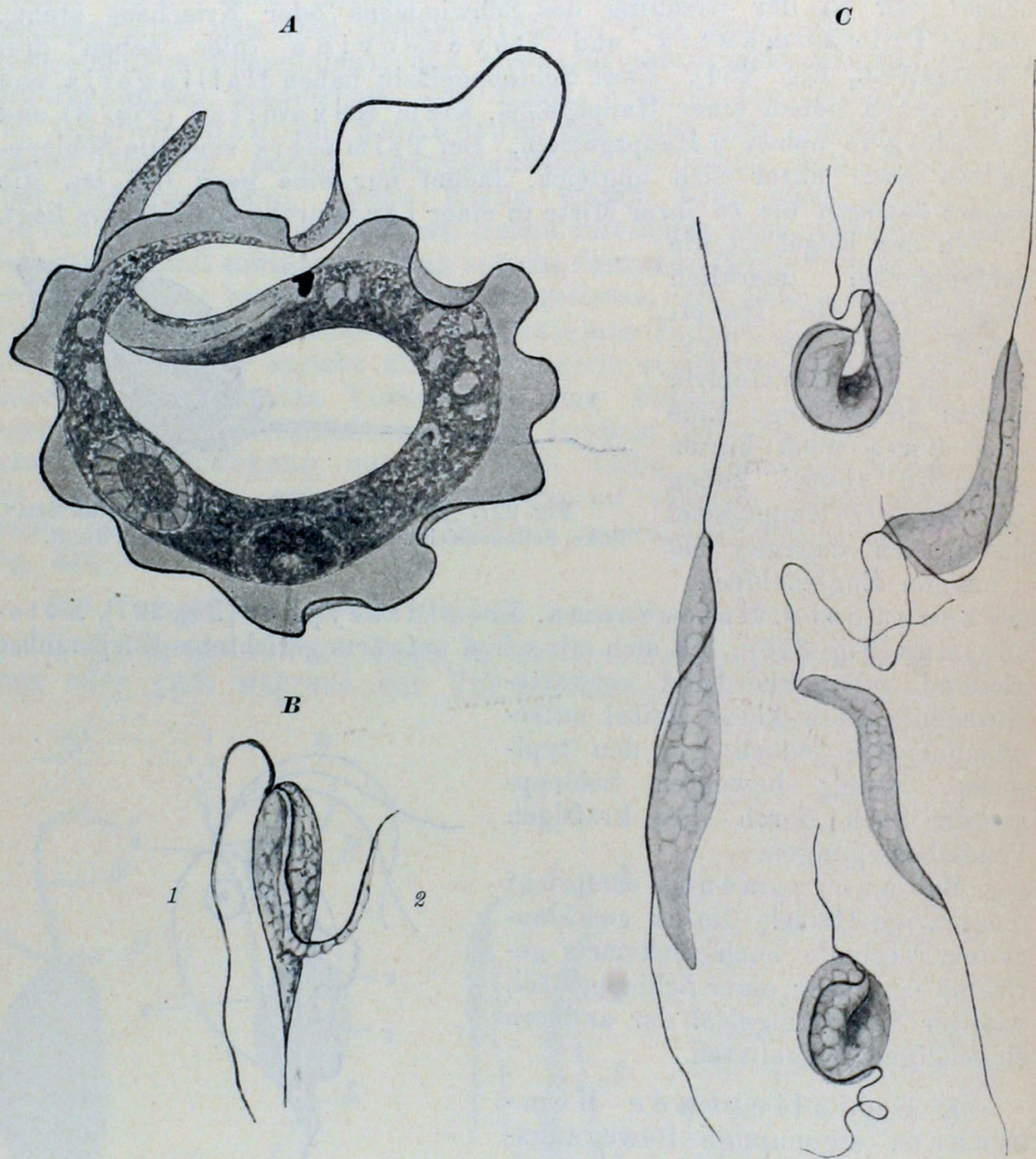


Fig. 228. *Trichomonas intestinalis*. 5—10 μ lang. a Achsenstab, b Basalkörper der in zwei Schlagphasen dargestellten Hauptgeißeln, f Basalfibrille der undulierenden Membran, m Cytostom, u undulierende Membran. Nach RODENWALDT 1911.

Sie entstehen dadurch, daß eine Geißel am Körper des Flagellaten in dessen Längsrichtung entlang

zieht und hierbei mit ihm, meist durch Vermittlung einer zarten Periplastlamelle, verwachsen ist. Die Geißel erscheint alsdann als verdickter Randsaum der undulierenden Membran und kann sich auch über diese Membran in ein freies Geißelende fortsetzen. Ein solches freies Geißelende kann aber auch fehlen (Fig. 152, *a*) und ebenso kann die Periplastlamelle fehlen, die die Geißel über das Niveau der angrenzenden Körperfläche erhebt (Fig. 229, *C*).



229. **Undulierende Membranen.** *A Trypanosoma rajae* LAV. und MESN. aus dem Blute von *Raja microcellata*. Nach M. ROBERTSON aus DOFLEIN. *B Trypanoplasma* (??) *gryllotalpae* HAMB. aus dem Darm von *Gryllotalpa vulgaris*. 1 Hauptgeißel, 2 undulierende Membran mit freiem Geißelende. *C Trypanoplasma (Cryptobia) limnorum* KÜHN aus dem Receptaculum seminis von *Limnaea stagnalis*. Nach KÜHN.

Bei *Trichomonas* spielen anscheinend die drei Hauptgeißeln die Hauptrolle bei der Schwimmbewegung (Fig. 228); die undulierende Membran dürfte hier in erster Linie eine regulierende Funktion haben. Die anderen eine undulierende Membran besitzenden Flagellaten sind verhältnismäßig langgestreckt und bewegen sich mit lebhaften Schlänge-

lungen des ganzen Körpers vorwärts; bei ihnen hat offenbar die undulierende Membran die Funktion eines den lokomotorischen Effekt der Körperschlängelungen steigernden Flossensaumes (vgl. Fig. 229, A).

Für einen Trichomonas-ähnlichen Darmflagellaten des Menschen, den PROWAZEK (1911) auf Samoa gefunden hat und den er *Fanapepea intestinalis* nennt, wird als besonders charakteristisch angegeben „das geräumige, sackartige Vestibulum, das seitlich durch eine Leiste gestützt wird und in dem von einem dritten Basalkorn aus eine kurze intravestibulare undulierende Membran verläuft“ (2 andere Basalkörner bilden den Ausgangspunkt für 2 Hauptgeißeln). PROWAZEK schließt aus diesem Befund, „daß die undulierende Membran der Trichomonaden anders abzuleiten ist als die undulierende Membran der Trypanosomen“ und im Gegensatz zu dieser „ursprünglich als ein Strudel- und Lippenorganell direkt im Dienste der Nahrungsaufnahme stand und erst mit einer sekundären Verbreiterung des Vestibulums und einer späteren Ummodifizierung des Mundspaltes auch in den Dienst der Lokomotion trat“. In einer schematischen Abbildung ist das „Vestibulum“ von *Fanapepea* ähnlich der „Schlundeinsenkung“ der Cryptomonaden (vgl. Fig. 16 auf S. 16) dargestellt. Seine Funktion als Ernährungsorganell ist anscheinend nur aus den Formverhältnissen erschlossen, und im ganzen scheint mir die hier wiedergegebene Darstellung PROWAZEKS noch der Bestätigung bedürftig.

Als undulierende Membran ist mehrfach auch die Crista der Muschel-Spirochäten (Gattung *Cristispira*) aufgefaßt worden; gab dies doch sogar die Veranlassung, daß die Spirochäten gelegentlich den Flagellaten angegliedert wurden. Indessen ist diese Crista nach GROSS (1910) durchaus eine Bildung *sui generis*, ein seitlich dem zylindrischen Körper ansitzender, fast von einem bis zum anderen Körperende reichender Kamm, der bei guter Fixierung keinerlei Struktur erkennen läßt und eine integrierende Fortsetzung der ziemlich starken, aber färberisch nicht differenzierbaren Zellmembran der *Cristispiren* darstellt.

Eigenartige Differenzierungen zweier Geißeln, die besondere Besprechung verdienen, finden sich bei den Dinoflagellaten und bei *Noctiluca*.

1. Die beiden Geißeln der Dinoflagellaten entspringen in einer fast stets an der Seite („Bauchseite“) des Körpers, nur ausnahmsweise (bei den *Prorocentraceen*) am Vorderende gelegenen spaltförmigen Vertiefung, dem „Geißelspalt“. Bei den *Prorocentraceen* geht bei der Bewegung die eine Geißel voran, die Bewegung der anderen ist noch nicht ganz sicher (Schwingungen um die Basis der 1. Geißel sind beobachtet). Bei allen anderen Dinoflagellaten liegen die Geißeln in Furchen der Körperoberfläche, deren eine von dem Geißelspalt (meist in der Längsrichtung des Körpers) nach hinten zieht, während die andere den Körper in einer häufig fast ringförmig geschlossenen, seltener in einer mehr gestreckten Spirale umgürtet. Bei einzelnen ungepanzerten Arten, deren spiralige „Gürtelfurche“ mehr als einen Umgang macht, beschreibt (offenbar infolge spiraliger Drehung der ganzen Längsachse) auch die „Längsfurche“ eine Spiraltour (Fig. 230). Die in der Gürtelfurche geborgene Gürtel- oder „Flimmergeißel“ führt schraubenförmige Wellenbewegungen aus, die in erster Linie eine Rotation des Organismus um die Längsachse bewirken, nebenbei aber auch noch die Vorwärtsbewegung fördern. Die Längsgeißel ragt beim freien Schwimmen aus der Längsfurche weit nach

hinten vor und liefert bei ihren schwingenden Bewegungen die Hauptkraft für die Vorwärtsbewegung, nebenbei noch als Steuer wirkend; in der Ruhe wird sie mehr oder weniger zurückgezogen, bei vielen Arten in engen Spiralwindungen völlig in der Längsfurche geborgen (Fig. 231), bei *Oxyrrhis* in charakteristischem Bogen um einen eigenartigen, neben der Längsfurche gelegenen zapfenförmigen Vorsprung des Körpers herumgelegt (Fig. 232).

Mehrfach wurde übrigens bei einzelnen Dinoflagellaten-Arten (Gattungen *Ceratium*, *Gymnodinium* und *Spirodinium*) gelegentliche Verdoppelung der Längsgeißel beobachtet, und OHNO (1911) hat bei einer

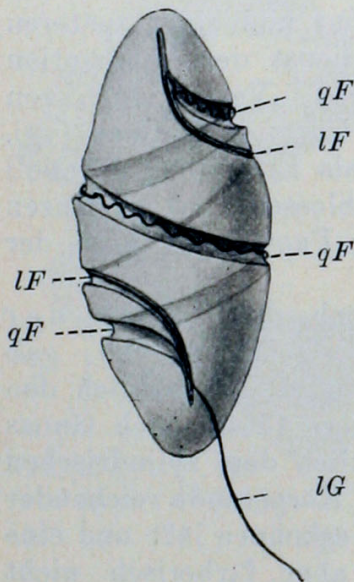


Fig. 230.

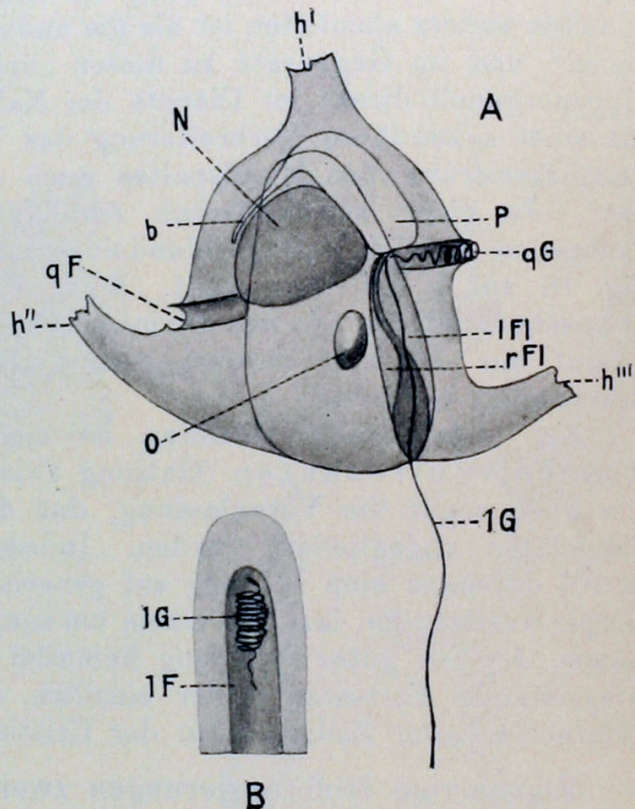


Fig. 231.

Fig. 230. ***Pouchetia fusus* SCHÜTT.** Ventralansicht. *lF* Längsfurche, *lG* freies Ende der Längsgeißel, *qF* Querfurche. Das der Dorsalfläche genäherte Stigma nicht dargestellt. Nach SCHÜTT 1895, 1896.

Fig. 231. ***Ceratium tripos* NITZSCH.** **A** Mittelkörper (ohne die 3 Hörner) von der Ventralfläche, mit teilweise dargestelltem Zellinhalt. *b* blinddarmähnlicher Anhang der Pusule, *h'* Basis des Vorderhorns, *h''* desgleichen des rechten und *h'''* des linken Hinterhorns, *lFl* linke Flügelleiste der Längsfurche, von deren Rande entspringend und zusammen mit der rechten Flügelleiste (*rFl*) eine Schutzröhre für die Geißel bildend, *lG* Längsgeißel, *N* Kern, *O* Oeltropfen, *P* Sackpusule, *qF* Querfurche, *qG* Quergeißel, *rFl* rechte Flügelleiste der Längsfurche. **B** Lage der völlig zurückgezogenen Längsgeißel in der Längsfurche. Vergr. 640:1. Nach SCHÜTT 1895.

Art, *Gymnodinium biciliatum*, diese Verdoppelung der Längsgeißel sogar konstant gefunden, so daß diese Art statt der gewöhnlichen zwei drei Geißeln besitzt.

2. Bei *Noctiluca* ist der kugelförmige Körper auf der Ventralfläche längs der Medianebene in Ausdehnung von $\frac{1}{6}$ — $\frac{1}{4}$ des Kugelumfanges mehr oder weniger tief eingesenkt. Den Boden dieser als Peristom bezeichneten Einsenkung nimmt die spaltförmige Mundöffnung ein und vorn, etwa in der Mitte zwischen Peristomrand und Vorder-

ende der Mundspalte, erhebt sich die sogenannte Bandgeißel (Tentakel). Sie ist kontraktile, bald gestreckt, bald mehr oder minder eingerollt; nach dem (immerhin noch ziemlich stumpfen) Ende verjüngt sie sich kegelförmig; auf der der Mundspalte zugewandten Seite ist sie rinnenförmig vertieft. Sie ist den Geißeln anderer Flagellaten nicht vergleichbar, sondern ist eine Ausbuchtung des Zellkörpers und besitzt wie dieser eine den plasmatischen Inhalt umschließende Membran. Die Membran der Bandgeißel läßt eine sehr feine Querringelung erkennen

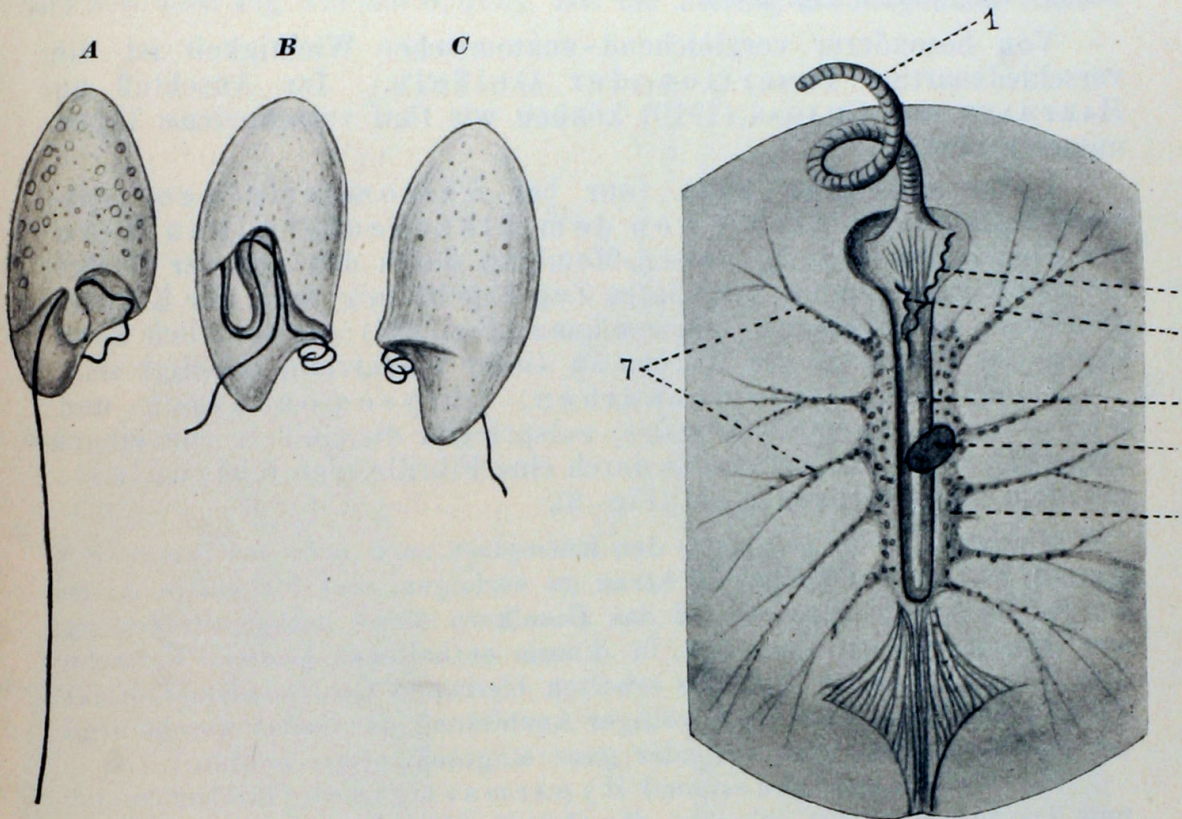


Fig. 232.

Fig. 233.

Fig. 232. **Oxyrrhis marina** DUJ. *A* Ventralansicht eines zur Ruhe kommenden Exemplares mit ausgestreckter Schleppgeißel und langsame Wellenbewegungen vollführender Ringgeißel. *B* Ventralansicht eines ruhenden Exemplares mit angezogener Schleppgeißel. *C* Dorsalansicht desselben Exemplares. Vergr. 1000:1. Nach SENN 1911.

Fig. 233. **Noctiluca miliaris** SUR. von der Oralfläche (die beiden Seitenteile des kugeligen Körpers abgeschnitten dargestellt). 1 Bandgeißel, 2 Flagellum, 3 Zahn, 4 Mundspalte, 5 Kern, 6 Zentralplasma, 7 von diesem ausgehende, sich verästelnde Plasmastränge. Nach BÜTSCHLI 1885.

und auf der konkaven Seite hat sich die sonst unregelmäßige Netzstruktur des Plasmas zu einer regelmäßigen, mit quergestreckten viereckigen Maschen umgewandelt, was zu dem irrigen Vergleiche mit einer quergestreiften Muskelfaser verführt hat. Die Bewegungen der Bandgeißel sind sehr träge und anscheinend ohne erheblichen Einfluß auf die Körperbewegungen; es wird deshalb vermutet, daß sie bei der Nahrungszufuhr mitwirke.

Hinter der Bandgeißel und nahe dem Vorderende des Mundspaltes liegt im Peristom eine kleine feine hintere Geißel, welche lebhaft wellenförmige Bewegungen ausführt und offenbar einer gewöhnlichen Flagellatengeißel entspricht, wenngleich sie zu schwach ist, um wesent-

liche lokomotorische Wirkungen entfalten zu können, und daher meist auch als Organell für die Nahrungszufuhr betrachtet wird (Fig. 233, 2).

Bei den anderen Cystoflagellaten (*Leptodiscus* und *Craspedotella*, Fig. 289) fehlt die Bandgeißel. Die einzige kleine, der hinteren Geißel von *Noctiluca* entsprechende Geißel ist dadurch ausgezeichnet, daß sie innerhalb einer engen röhrigen Einsenkung („Geißelscheide“) entspringt. Die Schwimmbewegungen dieser Flagellaten erfolgen offenbar durch Kontraktionen des ganzen Körpers ähnlich denen der Medusen (vgl. hierzu Fig. 289).

Von besonderer vergleichend-anatomischer Wichtigkeit ist die verschiedenartige Insertion der Geißeln. Im Anschluß an HARTMANN und CHAGAS (1910) können wir fünf verschiedene Typen unterscheiden:

1. Im einfachsten Falle (nur bei *Rhizomastiginen*) entspringt die Geißel direkt von dem bläschenförmigen Kern des Flagellaten (Fig. 2), dessen Membran durch den von der Geißel bei ihren Bewegungen ausgeübten Zug kegelförmig nach der Körperoberfläche zu ausgezogen werden kann (Fig. 224); gelegentlich kann sogar das Karyosom des Kernes an dieser Verzerrung beteiligt sein.
2. Bei den *Protomonadin*en, *Chrysomonadin*en und *Phytomonadin*en (*Volvocales*) entspringen die Geißeln von einem „Basalkorn“, das seinerseits durch eine Fibrille, den Rhizoplast, mit dem Kern verbunden ist (Fig. 3).

Mehrfach ist es gelungen, den Rhizoplast auch noch ins Innere des Kernes bis an das Karyosom heran zu verfolgen, und für einige Arten ist der Nachweis erbracht, daß das Basalkorn durch heteropole Teilung aus dem Karyosom bzw. dem in diesem enthaltenen Centriol entsteht. Der Rhizoplast stellt dann die erhalten bleibende Centrodosome dieser Teilung dar, kann aber nach völliger Ausbildung der Geißel anscheinend bei manchen Arten teilweise oder ganz eingeschmolzen werden.

Bei *Polymastiginen* und *Hypermastiginen* (*Trichomonaden* und *Trichonymphen*) scheinen die Geißeln ähnlich zu entspringen wie bei den *Protomonadin*en (denen die *Trichomonaden* von HARTMANN deshalb sogar direkt zugezählt werden). Eine Komplikation tritt bei ihnen jedoch dadurch auf, daß in der Nähe von Basalkorn und Kern noch ein eigenartiger *Parabasalkörper* vorhanden ist, der von dichtem homogenem Plasma gebildet wird und sich bei Osmiumfixierung sowie in Eisenhämatoxylin und Hämalaun — aber nicht in DELAFIELDS Hämatoxylin — deutlich färbt. Häufig (z. B. bei *Trichomonas*, *Devescovina*, Fig. 234) erscheint derselbe schlauch- oder wurstförmig und ist mit dem Basalkorn der Hauptgeißeln durch einen besonderen „Parabasalfaden“ verbunden. Bei *Lophomonas* (Fig. 14 und 215) hat er die Form zahlreicher, dicht aneinander gedrängter, stäbchenförmiger Gebilde, welche einem membranösen, den Kern umschließenden Kelch von außen dicht aufsitzen. Bei den vielkernigen Gattungen *Stephanonympha* und *Calonympha* ist er ebenfalls in Vielzahl vorhanden. Bei beiden liegen die Kerne in zwei- bis dreifachem Kranze in den oberflächlichen Schichten des Vorderendes; in der Nähe jeden Kernes liegen ein Basalkorn, von dem je 4 gleiche Geißeln entspringen, und ein *Parabasalkörper*, der mit dem Kern und dem Basalkorn eine von JANICKI (1911) als „Karyomastigont“ bezeichnete morphologische Einheit zu bilden scheint. Bei *Calonympha* (Fig. 235) ist im Gegensatz zu

Stephanonympha die Zahl der Geißelgruppen sehr viel größer als die der Kerne, indem vor den „Karyomastigonten“ noch eine Reihe von ebenfalls zu Kränzen angeordneten „Akaryomastigonten“ liegen, bestehend aus je einem Basalkorn, von dem die vier Geißeln entspringen, und einem Parabasalkörper, der hier in eine besonders differenzierte spindelförmige Plasmamasse eingelagert ist und unter Umständen einen Kern vortäuschen kann. Stets hat der Parabasalkörper auch Beziehungen zu dem allen diesen Formen zukommenden Achsenstab (vgl. außer Fig. 234 und 235 auch Fig. 215 auf S. 213). Bei der Teilung des Flagellaten kann

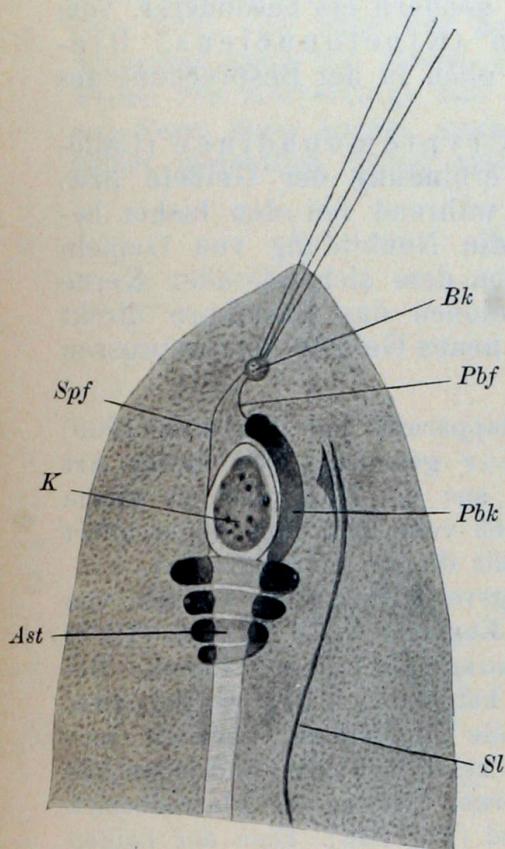


Fig. 234.

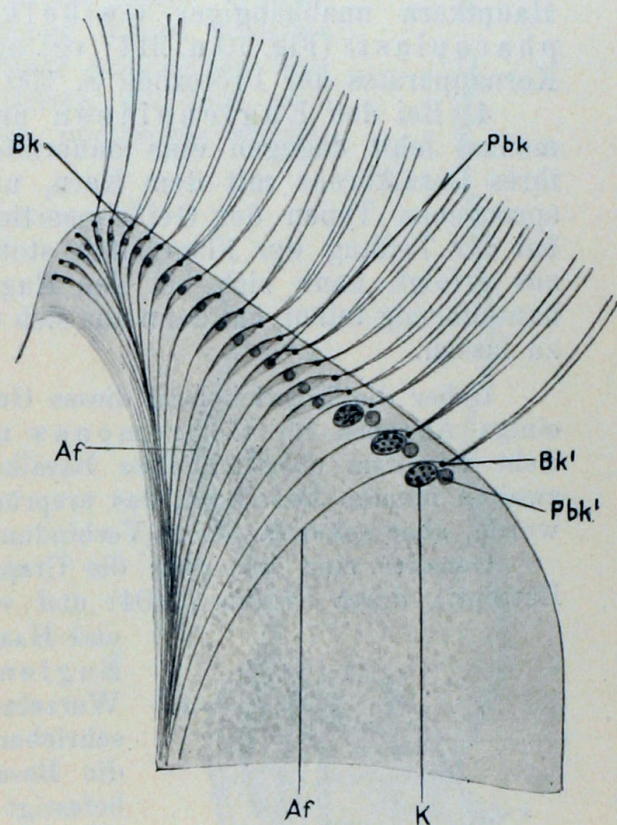


Fig. 235.

Fig. 234. **Vorderende von *Devescovina striata* FOÀ var. hawaiiensis.** Ast Achsenstab, Bk Basalkörper der Geißeln, K Kern, Pbf Parabasalfaden, der den Parabasalkörper mit dem Basalkörper verbindet, Pbk Parabasalkörper, in enger Schraubenlinie um den Achsenstab herumgewunden, Sl Schleppgeißel, Spf Suspensorialfaden, der das Basalkorn mit dem Kern verbindet. Nach JANICKI 1911.

Fig. 235. Optischer Längsschnitt durch das Vorderende von ***Calonympha grassii* FOÀ.** Af Die einzelnen, zum Achsenstabe zusammentretenden Fibrillen, Bk Basalkorn der Geißeln in einem Akaryomastigonten, Bk' desgleichen in einem Karyomastigonten, K Kern, Pbk Parabasalkörper in einem Akaryomastigonten, von besonders differenzierter, spindelförmiger Plasmamasse umgeben, Pbk' Parabasalkörper in einem Karyomastigonten. Nach JANICKI 1911.

er sich sehr verschieden verhalten: er kann selbst sich teilen (z. B. bei *Devescovina*) und so den Eindruck einer autonomen Organelle machen (vgl. S. 153) oder er kann dem einen Tochttertier zufallen und für das andere neu gebildet werden (z. B. bei *Stephanonympha*) oder endlich er kann zugrunde gehen und für beide Tochttertiere neu gebildet werden (z. B. bei *Lophomonas*). Seine Bedeutung ist noch durchaus hypo-

thetisch. JANICKI (1911), dem wir die hier referierten Angaben verdanken, vermutet in ihm „ein Depositum von im Stoffwechsel der parasitischen Flagellaten ausgearbeiteten, spannkraftreichen Substanzen, welche stetig einerseits für die Arbeit der Geißeln verbraucht, andererseits aus dem Plasma neu angelagert werden“.

3. Bei den Binucleaten (*Herpetomonas*, *Trypanosoma* u. a.) entspringen die Geißeln ebenfalls von einem einfachen oder doppelten Basalkorn, das durch einen Rhizoplast mit einem Kern in Verbindung steht. Dieser Kern ist aber nicht wie beim zweiten Typus der einzige Kern des Flagellaten, sondern ein besonderer, vom Hauptkern unabhängiger Geißelkern (*Kinetonucleus*, *Blepharoplast*) (Fig. 10 u. 214; vgl. auch oben in der Besprechung des Kernapparates der Protozoen S. 150f.).

4. Bei den Euglenoiden und Cryptomonadinen (*Chilomonas*) fehlt dagegen eine dauernde Verbindung der Geißeln bzw. ihres Basalkornes mit dem Kern, und während bei den bisher besprochenen Typen der Geißelinsertion die Neubildung von Geißeln bei der Teilung der Flagellaten stets von dem sich teilenden Kerne aus erfolgt, kann sich bei den Euglenoiden das Basalkorn direkt hantelförmig teilen, um dann aus sich die neuen Geißeln hervorsprossen zu lassen.

Ueber die Entwicklung dieses Geißelapparates hat BERLINER (1909) einige Angaben für *Copromonas major* gemacht. Bei dieser Art zieht von dem oberflächlichen Basalkorn aus ein Rhizoplast zu einem zweiten inneren Basalkorn, das ursprünglich vom Kern aus abgeschnürt wurde, aber sekundär seine Verbindung mit diesem eingebüßt hat.

Genauer sind wir über die Ursprungsverhältnisse der Geißeln von *Eutreptia* durch STEUER (1904) und von *Euglena* durch WAGER (1899)

und HAMBURGER (1911) unterrichtet. Bei *Euglena* hat die einzige Geißel zwei Wurzeln, die in einem deutlich umschriebenen, stark färbbaren und jedenfalls die Basalkörner bergenden Plasmabezirk befestigt sind (Fig. 236). Eine der beiden Wurzeln trägt eine halbmond- bis bohnen-

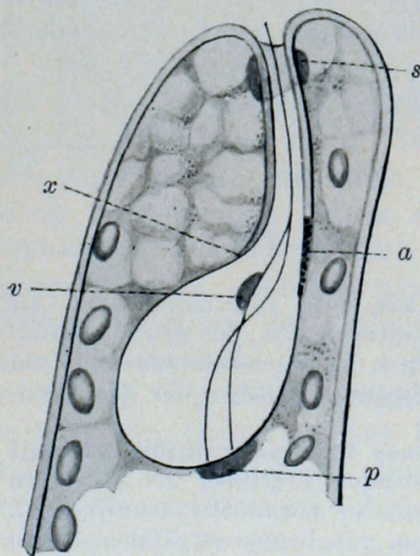


Fig. 236. **Vorderende von *Euglena ehrenbergi*** im Längsschnitt. *a* Durchschnitt durch den Augenfleck, *p* Plasmaverdichtung, in der die beiden Geißelwurzeln befestigt sind, *s* Sphinkter an der Mündung des Trichters, *v* Verdickung der einen Geißelwurzel, *x* Uebergangsstelle des Trichters in das Reservoir. Die frei vorragende Geißel ist an der Trichtermündung abgeschnitten gedacht. Nach HAMBURGER 1911.

förmige seitliche Verdickung, die sich färberisch anders verhält als die Geißel selbst und in enger Beziehung zu dem Augenfleck steht (vgl. auch den Abschnitt über Empfindungsorganellen). Bei dem häufig erfolgenden Abwerfen der Geißel scheinen die beiden Wurzeln in dem Körper zurückzubleiben. *Eutreptia* hat dagegen 2 Geißeln, deren ähnlich entspringende Wurzeln nicht gespalten sind und beide in Höhe des Augenfleckes eine seitliche Verdickung tragen. Die Fortsetzung der

Geißelwurzeln ins Innere des Plasmakörpers bis zu einem inneren Basalkorn konnte HAASE (1910) bei *Euglena sanguinea* verfolgen.

5. Bei *Mastigella* ist die (hier anscheinend verkürzbare!) Geißel nicht nur von dem Kerne völlig unabhängig, sondern auch ohne Verbindung mit einem besonderen Basalkorn.

Ihre Wurzel läßt sich als ein äußerst zarter Faden, der viel dünner ist als die Geißel selbst, bis an die Grenze von Ekto- und Endoplasma verfolgen, um hier unvermittelt zu enden. Sie liegt im Innern einer feinen Röhre, die sich von der Oberfläche des Körpers in die Tiefe senkt (Fig. 237). Je nach der Kontraktion dieses Wurzelapparates kann die Geißel zu einem langen schlaffen Faden von Körperlänge und darüber ausgestoßen oder zur Form einer kurzen starren Borste, die dann auch selbst wesentlich dicker erscheint, eingezogen werden.

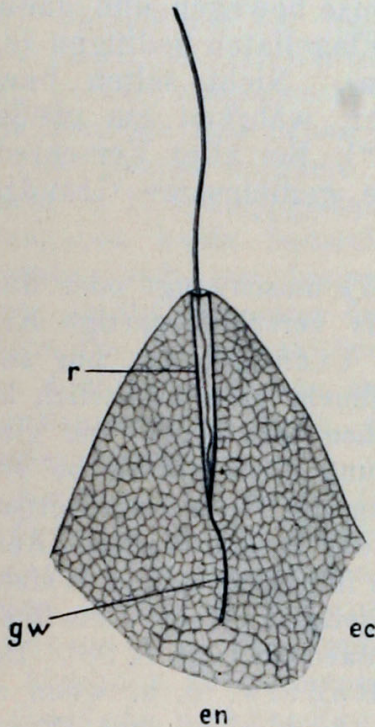


Fig. 237.

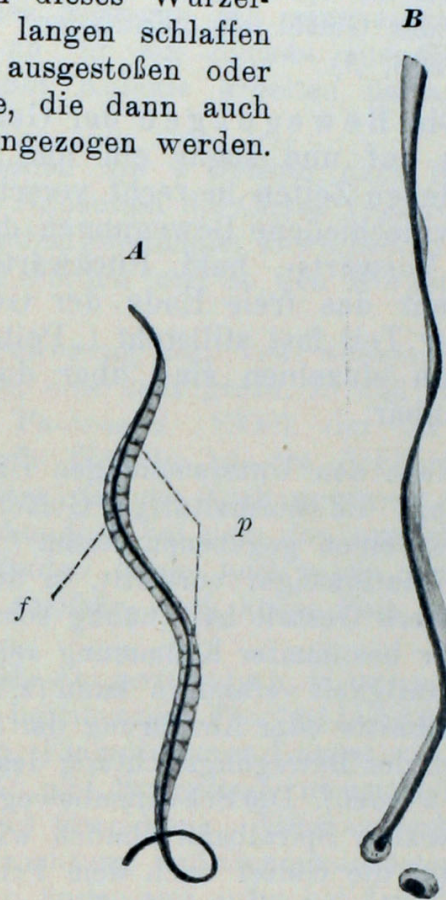


Fig. 238.

Fig. 237. **Geißelinsertion von *Mastigella vitrea*** GOLDSCHM. *ec* Ektoplasma, *en* Endoplasma, *gw* Geißelwurzel, *r* Röhre, die die Geißelwurzel umschließt und in die die Geißel zurückgezogen werden kann. Vergr. 1270:1. Nach GOLDSCHMIDT 1907.

Fig. 238. **Geißelstruktur.** *A* Isolierte Geißel von *Euglena*. *f* elastische Achsenfibrille, *p* Plasma. Nach BÜTSCHLI 1910. *B* Geißel von *Trachelomonas*. Rechts unten Querschnitt derselben zur Demonstration der exzentrischen Lage der dunkel gezeichneten Achsenfibrille. Nach PLENGE.

Die feinere Struktur der Geißel muß in Einklang stehen mit der dauernden Erhaltung der feinen Fadenform, die ohne Festigkeit nicht denkbar ist, und der lebhaften Beweglichkeit, die doch wieder starke Kontraktilität voraussetzt. Dementsprechend scheint nach neueren Untersuchungen jede Geißel zu bestehen aus einem festen elastischen Achsenfaden, der sie exzentrisch durchzieht, und einem diesen umhüllenden Plasmamantel; Krümmung der Geißel wird bedingt durch Kontraktion des Plasmamantels, während bei Nachlaß dieser Kontraktion die Elastizität des Achsenfadens die Streckung

der Geißel herbeiführt. Die größte Dicke des Plasmamantels läuft in gestreckter Spirale um den Achsenfaden herum und demzufolge führt die Kontraktion nicht zu einfacher pendelnder Krümmung der Geißel in einer Ebene, sondern zu schlängelnden Bewegungen in einer Raumkurve (Fig. 238).

Die Geißel von *Herpetomonas* besitzt statt eines einzigen Achsenfadens deren zwei, die sie der ganzen Länge nach parallel durchziehen, so daß sie als durch Verwachsung zweier Geißeln entstanden aufgefaßt werden kann (Fig. 10).

Bei manchen Flagellaten ragt der elastische Achsenfaden am freien Ende der Geißel als „Endfaden“ nackt über den Plasmamantel hinaus (Fig. 238, A).

Die Bewegungen der Geißeln weisen mancherlei Verschiedenheiten auf und sogar ein und dieselbe Geißel kann sich zu verschiedenen Zeiten in recht verschiedener Weise bewegen und dadurch auch verschiedene Bewegungen des ganzen Flagellaten bedingen (z. B. bald Vorwärts-, bald Rückwärtsschwimmen). Nicht selten bewegt sich nur das freie Ende der Geißel stärker, während ein größerer basaler Teil fast stillsteht („Peitschengeißel“). Bei aller Verschiedenheit im einzelnen sind aber doch wichtige gemeinsame Grundzüge erkennbar.

Nach den Untersuchungen ÚLEHLAS (1911) umschwingt oder durchschwingt die normaltätige Geißel durch ganz verschiedenartige Krümmungen einen gegebenen Raum („Lichtraum“ ÚLEHLAS), der nur selten eine Rotationsfigur vorstellt, in der Regel vielmehr eine wesentlich kompliziertere Gestalt hat (häufig schmal-elliptischen Querschnitt bei gleichzeitiger bestimmter Krümmung seiner Achse) und diese Gestalt bei voller Geißeltätigkeit verändern kann (z. B. Aenderung der Form des elliptischen Querschnitts oder Aenderung der Krümmung der Achse, wodurch Aenderungen der Bewegungsrichtung des Flagellaten in gesetzmäßiger Weise bedingt werden). Die Schwimmbewegung der Flagellaten erfolgt stets in einer gestreckten Spiralbahn ähnlich wie bei *Paramaecium* (vgl. S. 98). Dabei arbeitet die Geißel nach dem Prinzip eines Ruders, d. h. wenn auch Raumwellen in ihr verlaufen, so bringt sie doch nicht, wie BÜTSCHLI annahm, den Körper durch ein Vorwärtsschrauben vorwärts, sondern durch Summierung der Wirkung von seitlichen Schlägen (Kontraktionen) (besonders deutlich bei *Euglena*). Die Verschiedenheiten der Geißeltätigkeit bei Süßwasserflagellaten faßt ÚLEHLA in folgenden Typen zusammen:

1. *Monadentypus*: Geißel lang, gleichmäßig dick, stielrund, nach allen Seiten hin sehr biegsam, einer ösenförmigen Einkrümmung sehr leicht fähig, bewegt sich in vielen Raumwellen, die zu Flächenwellen abgeplattet werden können; Lichtraum im ganzen biegsam, nach vorn gerichtet.

2. *Chrysomonadentypus*: Geißel wie bei *Monas*, nur kürzer und steifer, bewegt sich in wenigen Raum- und Flächenwellen; Lichtraum weniger biegsam als bei *Monas*, nach vorn (*Chrysomonaden*) oder auch seitlich (*Schwimmgeißel* von Bodo) gerichtet.

3. *Euglenentypus* (auch bei *Cryptomonaden*): Geißel lang, mit elliptischem Querschnitt, im Sinne des kleineren Durchmessers biegsamer, tordiert, bewegt sich in schleifenförmigen Raumwellen; Lichtraum seitlich gerichtet.

4. *Bodotypus*: Ziemlich starre Schleppgeißel, bewegt sich langsam in 1—2 flachen Raumwellen, kann sich anheften oder gleiten, ist einer schleifenförmigen Biegung unfähig.

5. *Chlorophyceentypus*: Geißel einer ösenförmigen Einkrümmung unfähig, umschwingt einen seitlich gerichteten Lichtraum, indem sie sich als Ganzes kontrahiert. — *a. Schwärmertypus* (z. B. bei *Chlamydomonas*): Geißel stielrund, kurz, starr, bewegt sich nie in Wellen, sondern nur um ihren viel biegsameren Basalteil. — *b. Pandorinatypus*: Geißel länger und biegsamer, manchmal schwach bandförmig, an der Basis nicht biegungsfähiger als an anderen Stellen, nimmt vorübergehend nach der Seite des Schlages hin eine schraubige Gestalt an; manchmal bemerkt man an ihr ein Zucken und Zittern. Die Geißeln aller Einzelindividuen einer Kolonie arbeiten harmonisch zusammen.

Bei *Gyromonas ambulans* sollen die 4 Geißeln nach SELIGO (1877) ähnlich wie bei den hypotrichen Infusorien die Cirren (vgl. S. 242) zum Gehen benutzt werden können, indem sie immer abwechselnd paarweise gerade ausgestreckt starr, steif werden und so den Körper vorwärts schieben und heben.

Die Geschwindigkeit der Geißelbewegung ist, von wenigen Ausnahmen (z. B. Schleppgeißeln) abgesehen, eine sehr große, so daß sichere Zeitangaben kaum feststellbar sind. PROWAZEK (1900), der für verschiedene, sich nur langsam bewegende Geißeln 14—94 Schläge pro Minute angibt, vermutet doch gleichzeitig, daß die Zuckungsdauer vieler Geißeln das Zeitintervall von 0,044 Sekunden, bei dem das menschliche Auge Lichtreize gerade noch unterscheiden kann, noch nicht erreicht. Bemerkenswert ist auch, daß isolierte Geißeln noch kurze Zeit weiter schlagen können.

Außerhalb der Klasse der Mastigophoren finden sich Geißeln in weiter Verbreitung bei bestimmten Fortpflanzungsstadien (den sogenannten Schwärmern, Flagellosporen LANGS) von Sarcodinen (vgl. z. B. Fig. 108 auf S. 89) und Sporozoen, namentlich bei Gameten (z. B. der Foraminiferen und Coccidien). Näheres siehe in dem Abschnitt über Fortpflanzung, Befruchtung und Generationswechsel.

Geißeln neben Pseudopodien finden sich außer bei den Rhizomastiginen und anderen amöboid beweglichen Flagellaten auch noch bei einzelnen Formen von zweifelhafter systematischer Stellung: *Dimorphamutans* (Fig. 239) mit 2 Geißeln neben heliozoenähnlich allseitig radiär ausstrahlenden Axopodien, und *Ciliophrys*, die ebenfalls allseitig dünne, feine, spitze Pseudopodien besitzt, diese aber einzieht, wenn sie unter Bildung von 1—2 Geißeln in den schwimmenden Flagellatenzustand übergeht.

Geißeln neben Wimpern finden sich bei einzelnen Ciliaten: *Monomastix ciliatus* hat eine lange Geißel am Vorderende (Fig. 240) und die merkwürdige *Maupasias paradoxa*, die SCHEWIAKOFF 1893 beschrieb und die sich von typischen Infusorien anscheinend auch durch den einfachen Kern unterscheidet, hat mehrere Geißeln am hinteren Körperteile, darunter eine Hauptgeißel direkt am Hinterende.

2. Die Wimpern oder Cilien der Infusorien unterscheiden sich von Geißeln, wie bereits auf S. 225 erwähnt, durch wesentlich größere Anzahl sowie durch meist erheblich geringere Länge. Daß auch sie allem Anschein nach aus einem elastischen Achsenfaden und einem

diesen umgebenden Plasmamantel bestehen, wurde bereits in der monographischen Besprechung von *Paramecium* (S. 97) angeführt. Stets entspringt jede einzelne Wimper von einem besonderen, im Ektoplasma gelegenen Basalkorn (vgl. Fig. 110 sowie S. 97).

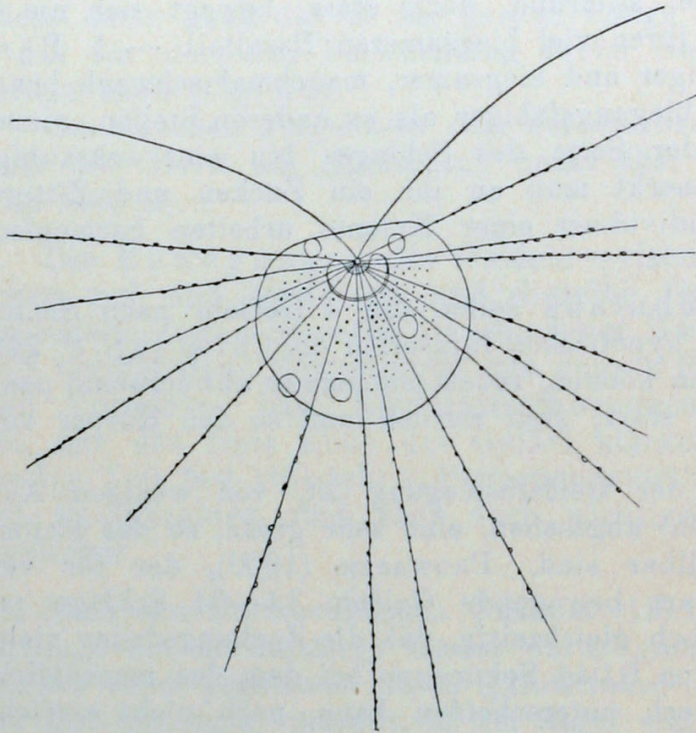


Fig. 239.

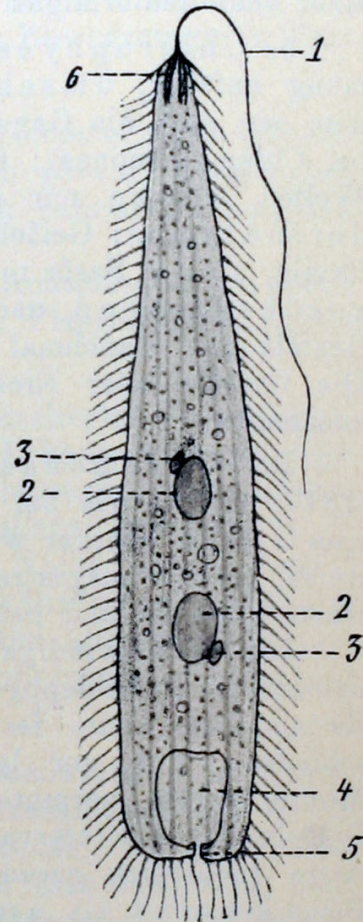


Fig. 240.

Fig. 239. ***Dimorpha mutans*** GRUBER. Süßwasser. Aus SCHOUTEDEN 1907.

Fig. 240. ***Monomastix ciliatus*** ROUX. Länge 75 μ , Breite 14 μ . Süßwasser. 1 Geißel am Vorderende, wo sich auch das Cytostom befindet, 2 Makronucleus, 3 Mikronucleus, 4 pulsierende Vakuole, 5 Cytopyge, 6 Trichiten hinter dem Cytostom (den Cytopharynx umstellend?). Nach JEAN ROUX 1899.

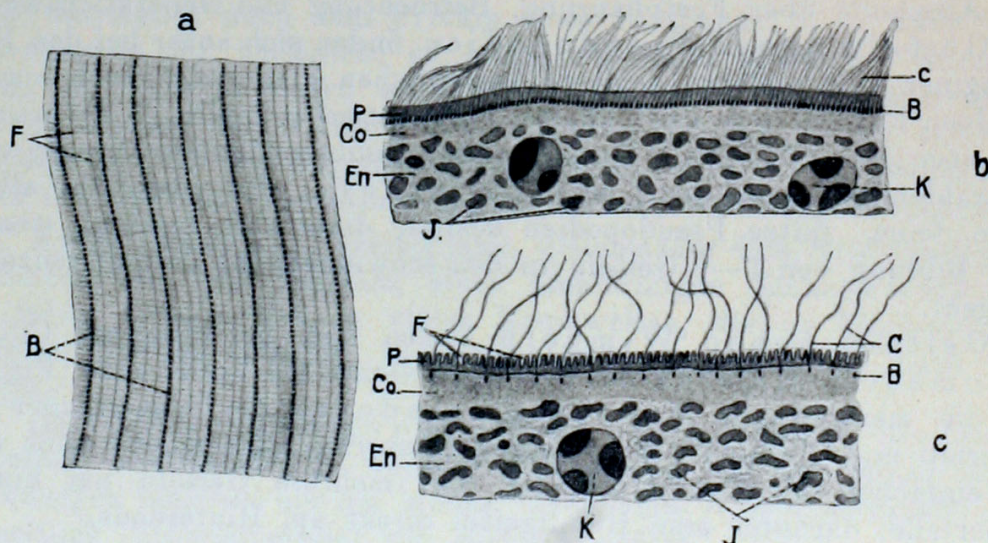


Fig. 241. ***Opalina ranarum*** STEIN. a Flächenschnitt durch das Ektoplasma im Niveau der Basalkörperchen, b Schnitt längs einer Wimperreihe, c Schnitt senkrecht zu den Wimperchen. B Basalkörperchen der Wimpern, C Wimpern, Co Corticalplasma, En Endoplasma, F Furchen der Oberfläche, I scheibenförmige Körperchen im Endoplasma, K Kerne, P Pellicula. Nach MAIER 1903.

Bei den einfachst organisierten und zum Teil wohl auch ursprünglichsten Infusorienformen besitzt der Körper an seiner ganzen Oberfläche ein gleichmäßiges dichtes Wimperkleid. Dabei sind die Wimpern derart in parallelen Längsreihen angeordnet (vgl. außer Fig. 241 und 243, *c* auch Fig. 59—62), daß sie in meridionaler Richtung oder in gestreckten Schraubenlinien vom vorderen (oralen) zum hinteren (aboralen) Ende des im einfachsten Falle spindelförmigen Körpers ziehen. Indem die Wimpern in gleichem Rhythmus in der Richtung ihrer Längsreihen nach hinten schlagen, wird der Körper unter Rotation um seine Längsachse nach vorne getrieben (vgl. auch S. 98).

Zunächst macht die Bewegung der Wimpern, die im ganzen unter dem Mikroskop ein Bild ähnlich einem vom Winde bewegten Getreidefeld bietet, ganz den Eindruck, als ob jede einzelne Wimper in einer Ebene hin- und herschläge. Tatsächlich ist dies jedoch nicht der Fall, vielmehr umkreist dieselbe offenbar einen Kegel von flach-elliptischem Querschnitt. Ueber das rhythmische Zusammenwirken der Wimpern vgl. die Besprechung von *Paramaecium* auf S. 98.

Der ursprüngliche Zustand eines vollständigen und gleichmäßigen Wimperkleides erfährt bei verschiedenen Infusorien die verschiedensten Abänderungen und Komplikationen, die hauptsächlich mit 2 Erscheinungen zusammenhängen: einmal treten die Wimpern in den Dienst der Nahrungsaufnahme, dessen Anforderungen wichtige Weiterbildungen herbeiführen, und zweitens kann das Wimperkleid auch Rückbildungen erfahren, die zu einem teilweisen, mehr oder weniger weitgehenden, bei einer Gruppe festsitzender Infusorien sogar zum völligen Schwunde führen.

A. Verschiedene Differenzierungen der Wimpern. In die Kategorie der Cilien gehören außer den einfachen Wimpern auch:

1. die Tastborsten, die morphologisch typischen Wimpern gleichen, auch gleich diesen von besonderen Basalkörperchen entspringen (Fig. 244, *Tb*), aber die motorische Funktion eingebüßt haben und offenbar Tastorgane darstellen (weiteres siehe unten in dem Abschnitt über Empfindungsorganellen);

2. motorische Organellen, die im Interesse größerer Arbeitsleistung durch Verschmelzung einer größeren Anzahl einzelner Wimpern entstehen, dementsprechend sich auch an ihren freien Enden leicht zerfasern und in vier verschiedenen Formen auftreten:

a) Als Membranellen bezeichnet man Wimperplättchen, welche in der Umgebung des Mundes in einer mehr oder weniger deutlich spiralig gekrümmten Reihe, der sogenannten adoralen Zone, stehen und mehr der Nahrungszufuhr als der Lokomotion dienen (vgl. deshalb auch Näheres über ihre Anordnung in dem Abschnitt über die Ernährungsorganellen). Die einzelne Membranelle ist ein zartes Plättchen von drei- oder viereckiger Gestalt, das stets 2 parallele Reihen von feinen, den Achsenfibrillen einzelner Wimpern oder Geißeln entsprechenden Fibrillen enthält und dementsprechend auch von einem „Basalsaum“ entspringt, der von 2 parallelen Reihen einzelner Basalkörperchen gebildet wird (Fig. 242 und 243).

Mehrfach sind in neuerer Zeit bei den Wimpern der Infusorien Fibrillen nachgewiesen worden, die von dem Basalkörperchen aus in die

Tiefe ziehen und jedenfalls als Widerlager für die sich bewegenden Wimpern dienen (wenngleich ihre Bedeutung hiermit wohl noch kaum erschöpft ist). Ueber ihre innere Endigung ist noch wenig Sicheres bekannt. Nur bei *Collinia branchiarum* wurde von COLLIN (1909) ihr Verlauf bis zur Oberfläche des Großkernes verfolgt (vgl. S. 215). Bei den Membranellen finden sich entsprechend ihrer verhältnismäßig kräftigen mechanischen Wirkung auch verhältnismäßig kräftige Widerlager im Plasma in Form einer Verdickung des Ektoplasmas, die im einfachsten Falle (z. B. bei *Nyctotherus*) als zusammenhängender „Basalwulst“ im ganzen Bereich der adoralen Zone in das Endoplasma hinein vorspringt. Meist aber findet sich unter jeder einzelnen Membranelle eine homogene ektoplasmatische „Basallamelle“ (Fig. 242 und 243, *Bl*). Bei *Bursaria* setzen sich diese Basallamellen noch in gleichfalls

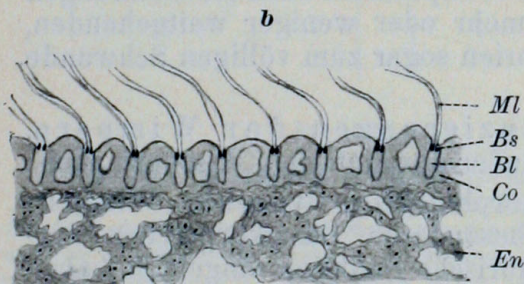
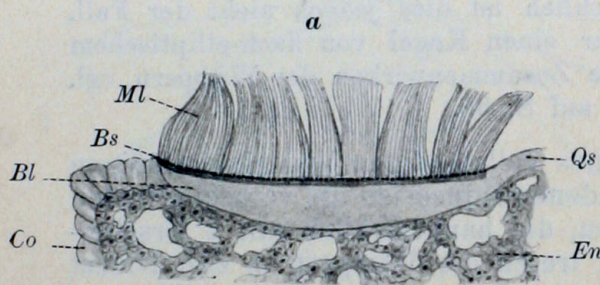


Fig. 242.

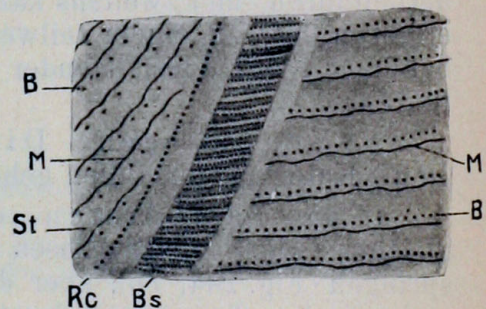
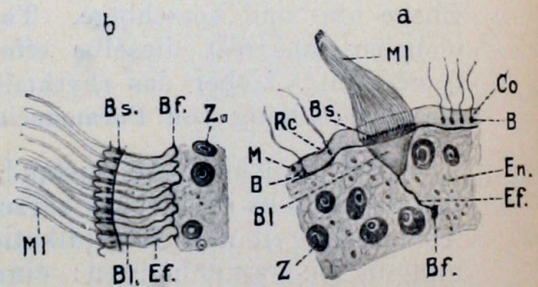


Fig. 243.

Fig. 242. *Bursaria truncatella* MÜLL. Schnitte durch die adoral Zone, *a* längs einer Membranelle, *b* senkrecht zu den Membranellen. *Bl* Basallamelle und *Bs* Basalsaum der Membranelle, *Co* Corticalplasma, *En* Endoplasma, *Ml* Membranelle, *Qs* Querstreifen. Nach MAIER 1903.

Fig. 243. *Stentor niger* EHRBG. Schnitte durch die adoral Zone, *a* längs einer Membranelle, *b* senkrecht zu den Membranellen, *c* Flächenschnitt in Höhe der Basalsäume. *B* Basalkörperchen einzelner Körperwimpern, *Bf* Basalfibrille, *Bl* Basallamelle, *Bs* Basalsaum, *Co* Corticalplasma, *Ef* Endfädchen, *En* Endoplasma, *M* Myonem, *Ml* Membranelle, *Rc* Basalkörperchen der Randcilien, *St* Stirnfeld, *Z* Zoochlorellen. Nach MAIER 1903.

quer zur Peristomrichtung verlaufende „Querstreifen“ fort (Fig. 242, *Qs*; Fig. 297 u. 298, 2), die ihrerseits wieder mit dem von SCHUBERG (1886) entdeckten „Peristombande“ in Verbindung stehen, das als bandförmiges Gebilde, am Peristomwinkel seine größte Breite erreichend und nach vorn sich beiderseits zuspitzend, um den Peristomwinkel herumzieht (Fig. 297 u. 298, 4). Bei *Stentor* und *Spirostomum* findet sich eine andersartige Verankerung der Membranellen, indem hier jede Basallamelle sich nach unten in eine Fibrille, das „Endfädchen“, verlängert und alle

Endfädchen untereinander durch eine in der Richtung der adoralen Zone verlaufende „Basalfibrille“ verbunden sind (Fig. 243, *a* und *b*). Eine weitergehende Komplikation dieses Apparates bei *Licnophora* wurde bereits auf S. 214 besprochen.

b) Die undulierenden Membranen der Infusorien (nicht mit den ebenso genannten Organellen der Flagellaten zu verwechseln!) sind ebenfalls flächenhaft ausgebildete, durch Verschmelzung von Cilienreihen entstandene Wimperapparate von meist rechteckiger Form, die in Beziehung zur Nahrungsaufnahme stehen. Sie sind als bewegliche Hautsäume mit einer ihrer Längsseiten dem Ektoplasma aufgepflanzt, während die andere Längsseite als freier Rand nach außen ragt, und finden sich in geringer Zahl und je nach den Arten wechselnder Anordnung im Inneren des Cytopharynx (Fig. 111 auf S. 93) oder auch in der Nachbarschaft des Cytostoms.

Im Gegensatz zu den Membranellen ist die Zahl der die undulierenden Membranen aufbauenden Wimperreihen verschieden. *Stylonychia* z. B. besitzt 3 undulierende Membranen, deren jede nur durch Verklebung je einer einfachen Cilienreihe entstanden ist; *Carchesium* und *Vorticella* bergen im Vestibulum 2 undulierende Membranen, die von je 3 Cilienreihen gebildet werden (vgl. auch den Abschnitt über die Ernährungsorganellen); *Glaucoma* besitzt 2 undulierende Membranen, in deren eine „etwa 5“, in deren andere „mindestens 10“ Cilienreihen eingegangen sind (MAIER 1903). Meist findet sich unter dem von den Basalkörperchen gebildeten Basalsaum der undulierenden Membranen eine Basallamelle wie bei den Membranellen.

c) Als *Membranulae* bezeichnet MAIER (1903) membranellenartige Wimpergebilde, welche bei Peritrichen (*Carchesium*, Fig. 64, *Vorticella*, *Epistylis*, Fig. 254, *B* u. a.) und bei einzelnen Holotrichen (z. B. *Didinium*, Fig. 113 und 293) in ringförmiger Anordnung den Körper umgürten. Sie stehen innerhalb des Wimperkranzes etwas schief zur Längsachse des Körpers und bestehen jede aus wenigen (bei *Carchesium*, *Vorticella* und *Epistylis* nur 3) in einer einzigen Reihe stehenden und miteinander verwachsenen Einzelcilien.

Die *Membranulae* der *Vorticelliden*, die nur einen einzigen hinteren Wimperkranz bilden, können völlig rückgebildet werden und sind bei den auf ihren Stielen festsitzenden Exemplaren gewöhnlich überhaupt nicht nachweisbar. Vor der Ablösung der Tiere von ihren Stielen bilden sie sich dann wieder aus, um als Lokomotionsorganellen der frei herum schwimmenden Exemplare zu dienen. Die in der Regel festsitzenden *Vorticelliden* sind nämlich nicht in allen Form- und Lebenszuständen festgeheftet, sondern können auch in frei bewegliche Zustände übergehen und es geht sogar immer dem festsitzenden Zustande ursprünglich ein freier voraus (vgl. Fig. 63 und 64 auf S. 41 f.).

Bei *Didinium* geht von dem Basalsaum jeder *Membranula* eine in das Körperinnere bis in die Nähe des Kernes hineinziehende Basalfibrille aus (THON 1905). Bei *Vorticellen* stehen die *Membranulae* häufig mit den Längsmyonemen in Verbindung.

d) *Cirren* (Griffel) sind kräftige, stab- oder kegelförmige Bewegungsorganellen von rundem, polygonalem oder elliptischem Querschnitt, die sich von gewöhnlichen Wimpern durch die erhebliche Dicke ihrer Basis unterscheiden, während sie gegen das freie Ende meist in eine

feine Spitze auslaufen. Sie entsprechen einem Büschel verschmolzener Cilien und besitzen dementsprechend einen Basalsaum, der von einer großen Zahl zu einer Art Platte vereiniger Basalkörperchen gebildet wird (Fig. 244, *Bs*). Ihre Bewegungsweise ist eine nicht unwesentlich andere als die der anderen Wimperapparate: sie befinden sich nicht in dauernder schlagender Bewegung, sondern werden mehr nach Art von Extremitäten bewegt: bald ruht der Körper, bald setzt er sich vermittelt seiner stets nur auf der Bauchfläche befindlichen Cirren

nach dieser oder jener Richtung in Bewegung (Fig. 245 und 246).

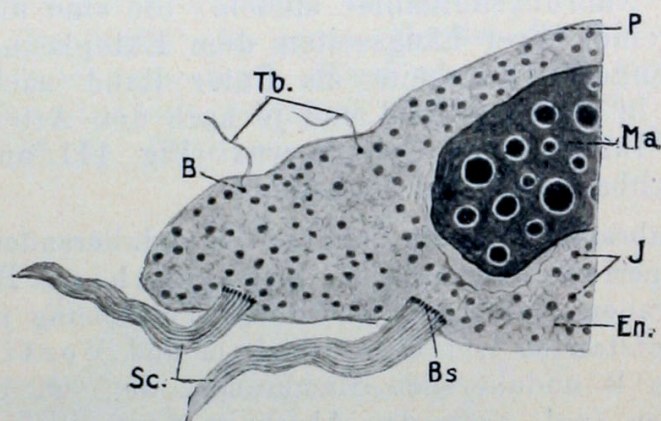


Fig. 244. **Stylonychia histrio** MÜLL. Schiefer Querschnitt durch den Körpertrand in der Stirngegend. *B* Basalkörperchen der Tastborsten, *Bs* Basalsaum der Cirren, *En* Endoplasma, *I* Inhaltskörper in demselben, *Ma* Makronucleus, *P* Pellicula, *Sc* Cirren, *Tb* Tastborsten. Nach MAIER 1903.

Im einzelnen ist die Bewegung der Cirren sehr kompliziert und mannigfaltig. Die einzelnen Cirren können völlig unabhängig voneinander schlagen, so daß nicht selten mitten in einer stillstehenden Reihe eine einzelne sich in Bewegung befindet oder benachbarte Cirren gleichzeitig entgegengesetzte Bewegungsphasen haben und sich daher zu kreuzen scheinen. Sie funktionieren teils als Schreit- und Lauf-, teils

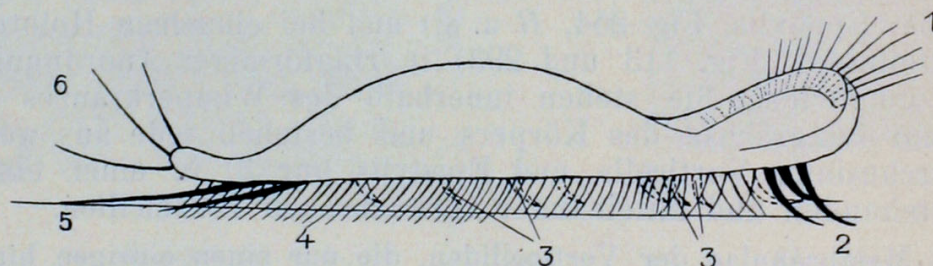


Fig. 245. **Stylonychia mytilus** MÜLL., rechte Seitenansicht, Schema der Wimperstellung. 1 Membranellen der adoralen Zone, 2 vordere Laufcirren (Stirncirren), 3 hintere Laufcirren (Bauchcirren), 4 Seitenrandcirren, 5 Sprung- und Aftercirren, 6 Schwanzcirren (vgl. auch die Bauchansicht in Fig. 302). Nach PÜTTER 1900, etwas modifiziert.

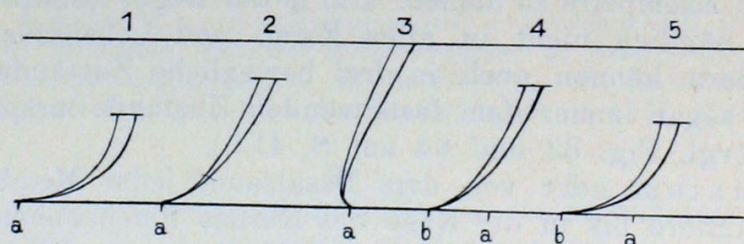


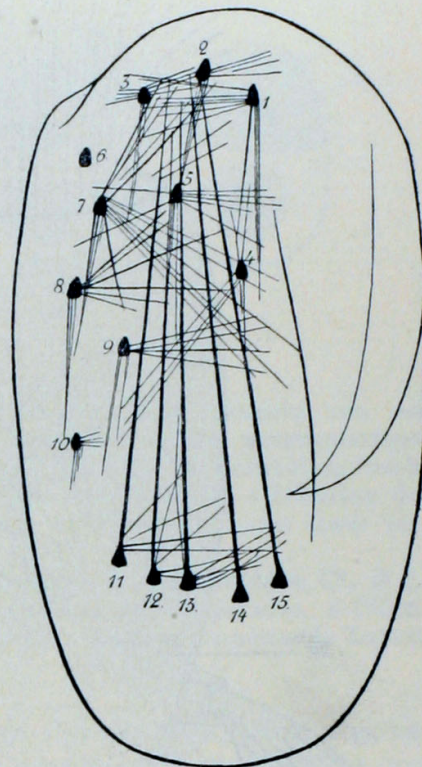
Fig. 246. **Schema des Schlages der Laufcirren von Stylonychia mytilus** MÜLL. 1 Ruhestellung der Cirre, 2 Beginn der Streckung, 3 stärkste Streckung mit hakenförmiger Rückwärtskrümmung der Spitze. Erst nach Erreichung dieser Stellung wird die bisher an der Unterlage haftende Spitze der Cirre losgerissen und sehr rasch von *a* nach *b* vorwärts geschleudert, wie dies in Phase 4 geschehen ist. In 5 ist die Ruhestellung wieder erreicht, von der aus der nächste Schlag erfolgen kann. Nach PÜTTER 1900.

als Sprung- und teils (aber immer nur ganz vorübergehend) als Schwimmorganellen (vgl. auch Fig. 122); die Laufbewegung ist ganz wie beim Gange des Menschen mit vertikalen Verschiebungen des Körpers verbunden (Fig. 246).

Auch bei den Cirren ziehen von dem Basalsaume aus „Basalfasern“ in das Plasma hinein. Von ENGELMANN wurden diese mit den Nervenfibrillen höherer Tiere verglichen, und auch PROWAZEK (1902) schrieb ihnen „noch ungesonderte kontraktorische und reizleitende Funktion“ zu; doch stellen sie offenbar nur Stützgebilde dar, die zur besseren Befestigung der Cirren im Körper dienen. In Einklang damit, daß die Cirren im allgemeinen sich nach zwei Richtungen bewegen können, verlaufen die bei *Euplotes harpa* näher studierten Züge der Basalfasern von der Basis jeder Cirre aus stets mindestens nach 2 Seiten unter fast rechtem Winkel (Fig. 247).

B. Ueber die verschiedenartige Anordnung der Wimpern, die für die Systematik der Infusorien von größter Bedeutung ist, kann hier in Zusammenfassung und Ergänzung der im Vorstehenden bereits zerstreut enthaltenen Angaben nur eine ganz kurze Uebersicht gegeben werden, wobei hinsichtlich des in den Dienst der Nahrungsaufnahme getretenen Teiles des Wimperapparates auf den Abschnitt über die Ernährungsorganellen verwiesen werden muß.

Fig. 247. *Euplotes harpa* STEIN. Kombinationsbild der zu den Cirren gehörenden Fibrillen. 1—15 = Ansatzpunkte der Cirren, und zwar 1—10 Laufcirren, 11—15 Sprung- und Aftercirren. Nach PROWAZEK 1903 aus DOFLEIN.



In den Ordnungen der Holotricha und Heterotricha ist im allgemeinen noch die ganze Körperoberfläche dicht und (abgesehen von der adoralen Zone) gleichmäßig bewimpert. Doch schon bei ihnen gibt es Formen, deren Wimperkleid stark reduziert ist: unter den Holotrichen kann es auf die Bauchfläche (z. B. bei *Chilodon*) oder auf 1—2 schmale ringförmige Gürtel beschränkt sein (z. B. bei *Didinium*, Fig. 113) und unter den Heterotrichen findet sich eine zum Teil sehr weitgehende, im einzelnen freilich verschiedenartige Reduktion vor allem bei den in Gehäusen geborgenen Tintinnoiden (Fig. 300) und den parasitischen Ophryoscoleciden (Fig. 155), die beide von manchen Forschern als Oligotricha zu einer besonderen Ordnung zusammengefaßt werden.

Die Tintinnoiden, über deren Körperbewimperung die Meinungen der Autoren sehr auseinandergehen, sind freilich nach den neueren Untersuchungen von GEZA ENTZ jun. (1909) und SCHWEYER (1910) nur durch Zartheit und Hinfälligkeit, nicht aber durch geringe Zahl ihrer Wimpern ausgezeichnet, da diese letzteren nicht nur in 4, wie DADAY

(1887) und BRANDT (1907) annahmen, sondern in zahlreichen (bei *Cyttarocyclis ehrenbergi* z. B. nach ENTZ in ca. 150) Längsreihen den ganzen Körper bedecken. Bei *Tintinnopsis* ist nach SCHWEYER außer diesen feinen und kurzen Wimpern noch eine Längsreihe bedeutend kräftigerer Wimpern dorsalwärts am rechten Körperende ausgebildet, und ferner konnte derselbe bei allen untersuchten Tintinnoideen „außer den in regelmäßigen Längsreihen angeordneten Wimpern, auch noch ziemlich feine, verhältnismäßig lange, steife Borsten oder Cirren beobachten, welche vornehmlich unterhalb des Peristoms resp. im vorderen Körperdrittel ihren Sitz hatten, und zwar hier in unbestimmter Zahl und unregelmäßig zerstreut waren“. Diese steifen Borsten werden „als Stützen beim Emporsteigen aus der Tiefe

der Hülse, in welche sich das Infusor bei der geringsten Kleinigkeit scheu zurückzieht, gebraucht“, sind also „Klettercirren“, dienen aber vielleicht auch als Tastborsten.

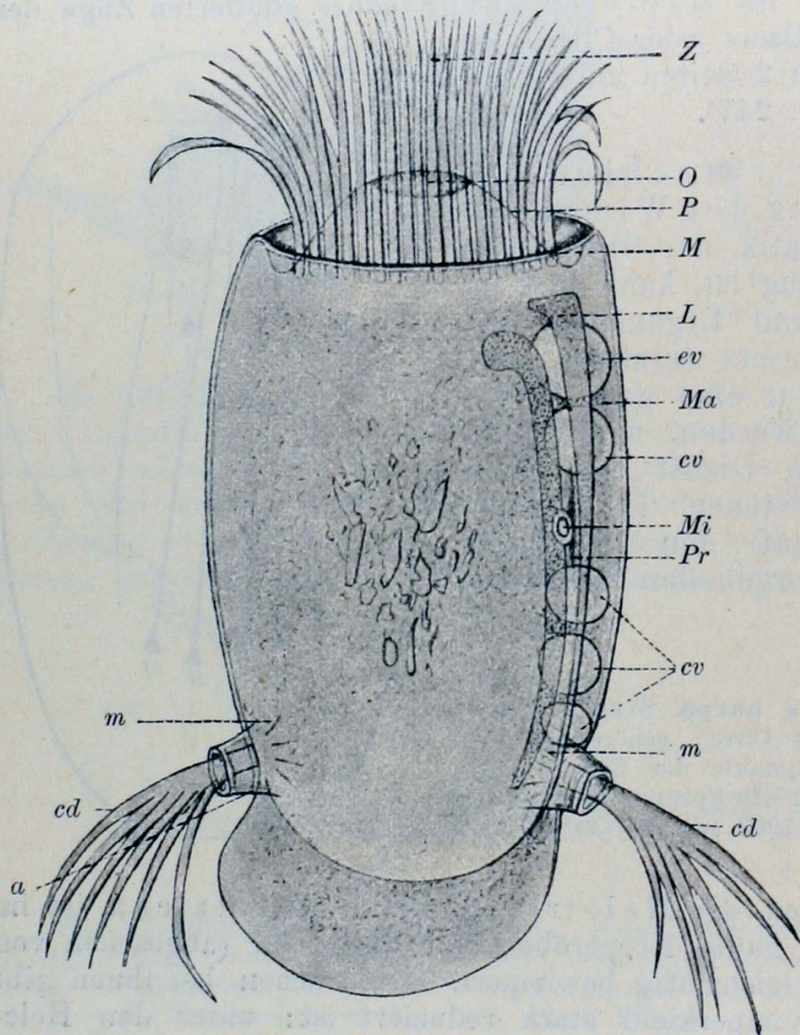


Fig. 248. **Cycloposthium bipalmatum** (FIOR.). *a* Stelle der Afteröffnung, *cd* Caudalia, *cv* kontraktile Vakuolen, *L* eine vorspringende, vorn verhältnismäßig breite Längsleiste des Körpers, *M* Peristomrand, *m* an die Caudalia herantretende Myoneme (Retraktoren), *Ma* Großkern, *Mi* Kleinkern, *O* Mundöffnung, *P* Peristom, *Pr* Protoplasmaverdichtung in der Umgebung des Nebenkernes, *Z* adorale Membranellenzonen. Nach BUNDLE 1895 aus DOLEIN.

Bei den Ophryoscoleciden ist dagegen eine starke zahlenmäßige Reduktion des Wimperkleides erfolgt: bei *Ophryoscolex* selbst beschränkt sich die Körperbewimperung auf einen nicht geschlossenen, den Körper hufeisenförmig umgreifenden Zug kräftiger Wimperorgane (Fig. 155), die äußerlich den Membranellen der adoralen Zone gleichen, cytologisch aber noch nicht untersucht sind; bei *Cycloposthium* findet sich statt dessen ein Paar als Ruder fungierender „Basalia“, deren jedes 6 breite lange, allseitig bewegliche, als „Caudalia“ bezeichnete Wimperorgane trägt, die, ihrer Mächtigkeit nach zu urteilen, ebenfalls nicht einzelnen Cilien entsprechen können, aber auch noch genauerer Untersuchung harren (Fig. 248); bei *Entodinium* endlich ist die Körperbewimperung völlig geschwunden und nur die adorale Membranellenzonen ausgebildet.

Bei den Peritrichen, fast durchweg festsitzenden Formen, ist im Anschluß an diese festsitzende Lebensweise die allgemeine Körperbewimperung ebenfalls geschwunden (Fig. 63). Bei einigen parasitischen Arten, die zum Teil lebhaft auf ihrer Unterlage dahinzugleiten vermögen, erhält sich jedoch noch dauernd ein hinterer Wimperkranz (z. B. *Trichodina*, Fig. 249, und *Licnophora*, bei letzterer in Form von 4 konzentrischen undulierenden Membranen, Fig. 216), dem ein um so größeres vergleichend-anatomisches Interesse gebührt, als auch bei den festsitzenden Vorticelliden ein ähnlicher hinterer Wimperkranz wieder auftritt, sobald sie in frei bewegliche Zustände übergehen (vgl. Fig. 64).

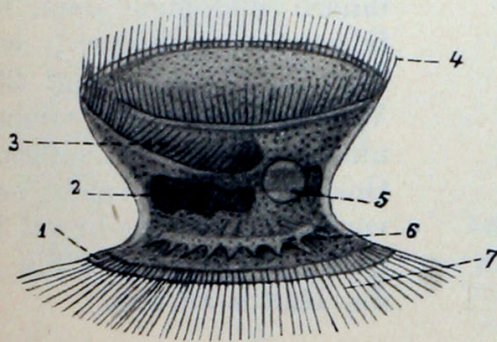


Fig. 249.

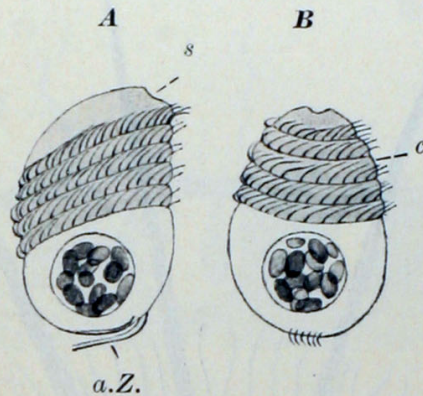


Fig. 250.

Fig. 249. *Trichodina pediculus* EHRLG. Höhe ca. 70 μ . Ansicht von der Vestibularseite. 1 Membranöser Saum, der die scheibenförmige, zu einem saugnapfartigen Haftapparat umgestaltete Basalfläche umzieht, 2 Makronucleus, 3 in das Vestibulum herabsteigender Teil der adoralen Zone, 4 adorale Zone, 5 pulsierende Vakuole, 6 Stützring des Haftapparates, 7 hinterer Wimperkranz. Nach BÜTSCHLI 1887/89, von LANG etwas vereinfacht und schematisiert.

Fig. 250. *Bewimperter Embryo von Tocophrya quadripartita* CL. & L. A rechte Seitenansicht, B Bauchansicht. a.Z. sogenannte adorale Wimperzone, c Cilien-gürtel, s Saugnapf, mit dem später die Festheftung erfolgt. (Ältere festsitzende Larven siehe in Fig. 271 und 307.) Nach FILIPJEV (1911).

Bei den Hypotrichen finden sich auf der Rückenfläche nur bewegungslose Tastborsten und sind die Bewegungsorganellen völlig auf die Bauchfläche beschränkt. Auch dort finden sie sich, abgesehen von den im Dienste der Nahrungsaufnahme stehenden Membranellen und undulierenden Membranen nur in Form von Cirren, die durch große cilienfreie Strecken voneinander getrennt und in ihrer reihen- oder gruppenweisen Anordnung von großer systematischer Bedeutung sind. Je nach ihrer Stellung unterscheidet man Rand-, Stirn-, Bauch-, Schwanzcirren usw., während man die stets nur in geringer Zahl vorhandenen kräftigeren Cirren auf Grund ihrer Funktion auch unterscheidet als Sprungcirren (ganz besonders kräftige Cirren nahe dem Hinterende) und Laufcirren (vor den Sprungcirren gelegen und nicht ganz so mächtig entwickelt wie diese). Vgl. hierzu Fig. 245 u. 302.

Bei den Suctorien oder Sauginfusorien endlich ist im erwachsenen Zustande im Zusammenhange mit der festsitzenden Lebensweise jegliche Bewimperung vollständig geschwunden. Nur eine einzige Form, die eigentümliche marine Gattung *Hypocoma* (mit nur einem Saugtentakel) trägt im erwachsenen Zustande noch ein dauerndes Wimperkleid auf der Bauchfläche, und einige andere Formen können vorübergehend die Saugtentakel einziehen und sich noch wieder mit Wimpern bekleiden, um eine Zeitlang umherzuschwimmen. Ganz all-

gemein aber ist bei den Suctorien die Erscheinung, daß bei der Fortpflanzung durch Knospung (siehe unten diese) die Knospen ein Cilienkleid erhalten, mit Hilfe dessen sie ausschwärmen; gewöhnlich ist dasselbe in Form eines einfachen oder mehrfachen Wimpergürtels ausgebildet (Fig. 250).

Außerhalb der Klasse der Infusorien finden sich Cilien nur ganz vereinzelt bei der von PENARD 1897 entdeckten interessanten *Myriophrys paradoxa*, die ganz typische Heliozoenorganisation zeigt, aber zwischen den Axopodien an der ganzen Oberfläche ein Kleid langer

geschmeidiger Cilien trägt, die beinahe an Flagellen erinnern und auch dann fortfahren zu schlagen, wenn das Tier ruht (Fig. 251). Während des Schwimmens nimmt es gestreckt eiförmige Gestalt an und zieht seine vorderen Axopodien fast ganz, die hinteren bis auf die Hälfte zurück.

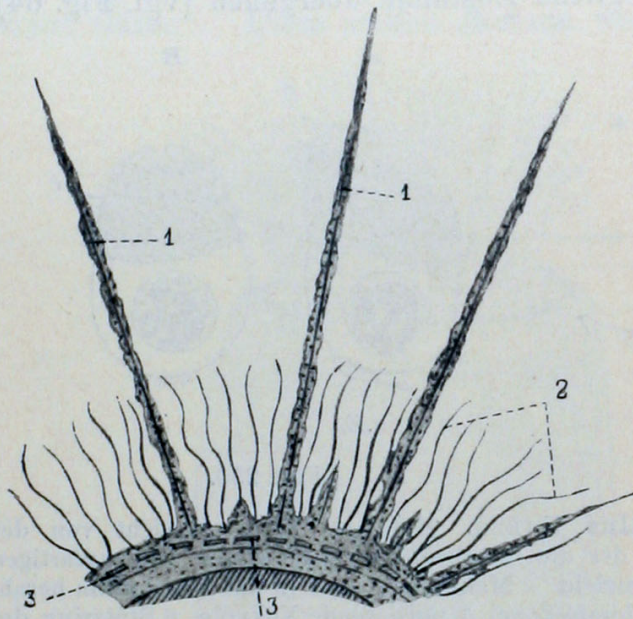


Fig. 251. Ein Stück der Körperoberfläche von *Myriophrys paradoxa* PENARD (aus dem Süßwasser; Durchmesser des Körpers ca. 0,04 mm). 1 Axopodien, 2 Cilien, 3 Kiesel (?) -Plättchen. Nach PENARD 1897.

2. Nicht frei hervorragende Bewegungsorganellen

(Myoneme und Myophrisken).

Bei vielen Ciliaten und Gregarinen haben sich im Ektoplasma kontraktile Fibrillen differenziert, die den Muskelfibrillen der Metazoen vergleichbar sind und als Myoneme bezeichnet werden. Sie vermögen sich im Gegensatz zu dem nicht polar differenzierten, in allen Richtungen kontraktile Protoplasma nur noch in einer Richtung und zwar in derjenigen ihrer Längenausdehnung zu kontrahieren, in dieser aber besonders energisch, so daß die sie besitzenden Arten unter den Ciliaten durch besonders starke Kontraktilität ihres Körpers ausgezeichnet sind. Bei den Ciliaten verlaufen sie vorwiegend in meridionaler, bei den Gregarinen dagegen meist annähernd in zirkulärer Richtung.

1. Bei den Ciliaten verlaufen die Myoneme im allgemeinen in derselben Richtung wie die Wimperstreifen in einer Schicht nebeneinander (Fig. 243 c und 252). Nach BÜTSCHLI stellen sie ursprünglich Differenzierungen der Alveolarschicht dar, doch sind sie oft in das unter dieser gelegene Corticalplasma verlagert. Bei manchen Arten (z. B. *Stentor*, *Prorodon*) liegt jedes Myonem im Innern eines subalveolaren Kanälchens (Fig. 253).

Im einfachsten, bei manchen Holotrichen (z. B. *Prorodon*, *Holophrya*) verwirklichten Falle ziehen die Myoneme ausschließlich in meridionaler Richtung vom vorderen zum hinteren Körperpole (vgl. Fig. 59). Je mehr die Körperform durch die Ausdehnung und Form des Peristoms

beeinflusst wird, um so mehr geschieht das Gleiche beim Verlauf der Myoneme. Als Beispiel sei auf *Stentor* verwiesen, bei dem sich unterscheiden lassen: 1. Längsmyoneme, die von der adoralen Membranellenzone des Körpers bis zum Hinterende des Körpers ziehen, um hier, ein wenig nach innen abbiegend und so zusammen einen kleinen Kegel bildend, frei zu enden, und 2. Stirnfeldmyoneme, die auf der Peristomfläche liegen und hier ebenfalls den Wimperreihen folgen (Fig. 62 und 243 c).

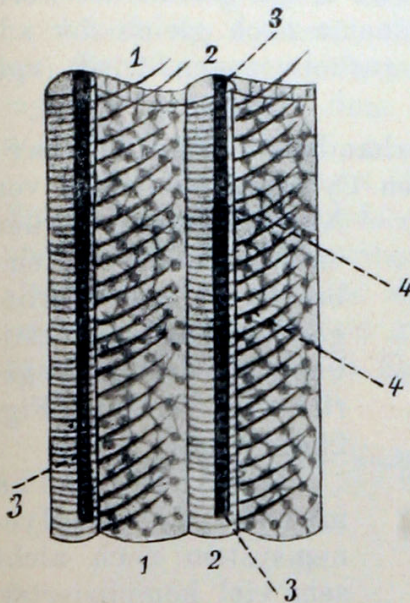


Fig. 252.

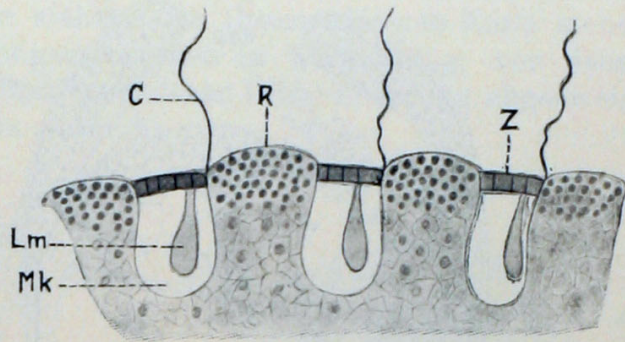


Fig. 253.

Fig. 252. **Kleine Stücke zweier Körperstreifen von *Stentor coeruleus* EHRBG.** 1 Die cilienlosen sogenannten Rippenstreifen mit blauen Körnchen in der Alveolarschicht. 2 Die farblosen Zwischenstreifen, unter jedem derselben (3) eine kontraktile Fibrille (Myonem). 4 Am Rande des Zwischenstreifens stehende Cilienreihe. Am oberen Rande sieht man die beiden Streifen im Querschnitt (vgl. auch Fig. 253). Nach BÜTSCHLI und SCHEWIAKOFF in LEUCKARTS Wandtafeln.

Fig. 253. **Querschnitt durch die Oberfläche von *Stentor coeruleus* EHRBG.** C Cilie, Mk Myonemkanal, Lm Myonem, R Rippenstreifen, Z Zwischenstreifen (vgl. auch Fig. 252). Nach SCHRÖDER 1907.

Von einzelnen Arten sind außer den oberflächlichen Körpermyonemen noch besondere Myoneme bekannt geworden, die zu den Ernährungsorganellen in Beziehung stehen. So z. B. besitzt *Spirostomum* zwei ganz besonders dicke Myoneme, die jederseits längs der adoralen Membranellenzone verlaufen, bei *Nyctotherus* liegen anscheinend besondere Myoneme der Wandung des Cytopharynx in dessen Längsrichtung an, bei *Prorodon* ist der Reusenapparat (vgl. Näheres in dem Abschnitt über Ernährungsorganellen) mit Myonemen ausgestattet (Fig. 295, A). Die größte Komplikation erreichen die Myoneme jedoch bei den Vorticelliden:

Epistylis plicatilis (Fig. 254), die wir auf Grund der SCHRÖDERschen Untersuchungen (1906) als erstes, noch verhältnismäßig einfaches Beispiel wählen, besitzt:

a) **Längsmyoneme**, 25–35 an Zahl, die vom oberen Ende des Stieles ausgehend, im Hinterkörper des Infusorienköpfchens noch durch das Endoplasma verlaufen, sich aber trichterförmig ausbreiten und vor der Stelle des (bei feststehenden Tieren meist nicht ausgebildeten) hinteren Wimperringes sich der Alveolarschicht des Ektoplasmas dicht anlegen. Etwas hinter der adoralen Zone biegen sie abermals ins Innere ab, um nach mehrfacher Verästelung sich zum größten Teil an dem Basalsaum der adoralen Zone zu inserieren (Fig. 254, A, lf), zum Teil

aber auch das Vestibulum zu umgreifen und hier vielleicht eine Art Sphinkter zu bilden. Die vorderen Myonemverästelungen können miteinander anastomosieren, und auch an ihren Hinterenden weisen die Myoneme meist noch Verästelungen und Anastomosen auf.

b) Ein einzelnes bandförmiges Ringmyonem am Rande des Peristoms, das bei der Kontraktion der Längsmyoneme noch gleich der adoralen Zone ins Innere der „Peristomhöhle“ zurückgezogen wird (vgl. Fig. 254, A, *rf*).

c) Ein gleichfalls nur in Einzahl vorhandenes Vestibularmyonem, das (ähnlich den bereits erwähnten Cytostommyonemen von *Nyctotherus*) in der den undulierenden Membranen gegenüberliegenden Wand des Vestibulums in dessen Längsrichtung verläuft (Fig. 254, C, *vf*).

Bei *Vorticella monilata* ist das Myonemsystem noch nicht sehr viel komplizierter. Die Längsmyoneme sind direkte Fortsetzungen des Stielmuskels (vgl. unten); Ringmyoneme

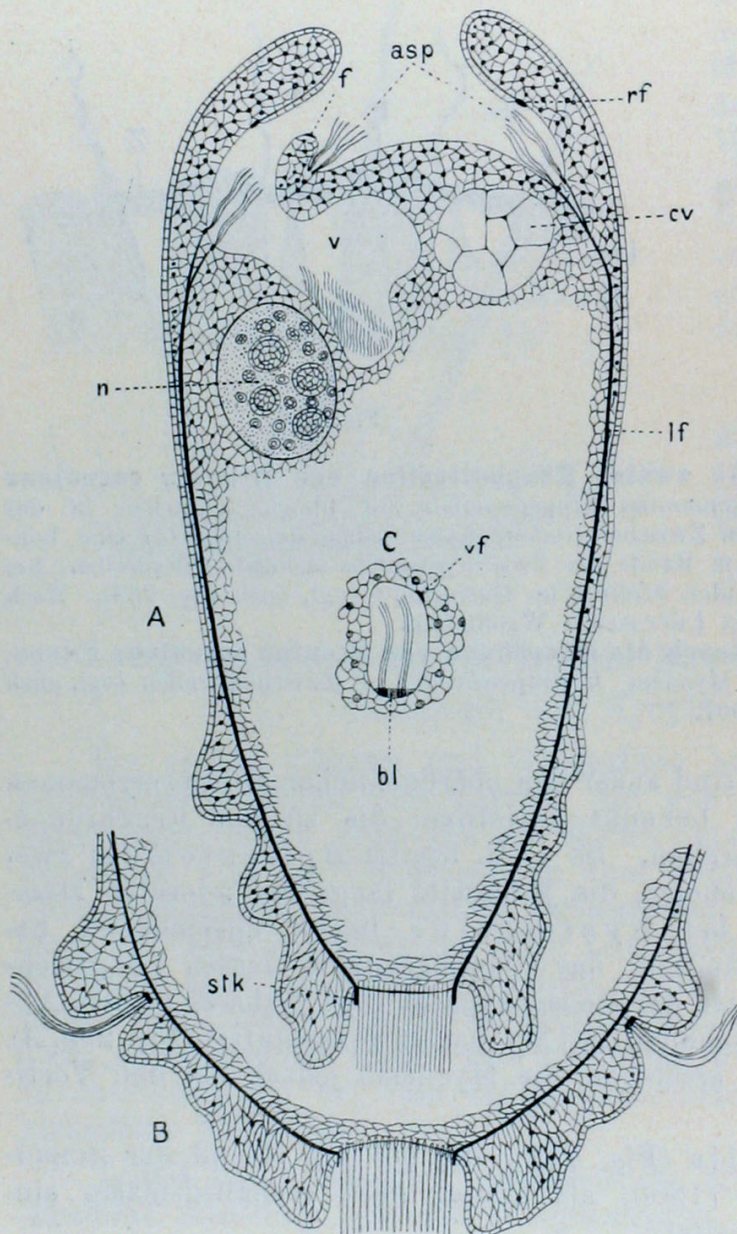


Fig. 254. *Epistylis plicatilis* (EHRBG). *A* Längsschnitt durch ein Einzeltier der Kolonie (das Endoplasma ist nur in einer schmalen oberflächlichen Zone dargestellt). *B* Längsschnitt durch das Hinterende eines solchen mit ausgebildetem Wimperkranze. *C* Querschnitt durch das Vestibulum. *asp* adorale Wimperspirale, *bl* Basallamelle des in das Vestibulum eingetretenen inneren Endes derselben, *cv* kontraktile Vakuole, *f* Fibrille an dem Eingang des Vestibulums, *lf* Längsfibrillen, *n* Makronucleus, *rf* Ringfibrille, *stk* Stielkragen, *v* Vestibulum, *vf* Fibrille im Vestibulum. Nach SCHRÖDER 1906.

sind in Mehrzahl vorhanden, aber immer noch auf den Peristomsaum beschränkt und ohne Verbindung mit den Längsmyonemen; entsprechend dem Vestibularmyonem findet sich auch noch ein Spiralmyonem, das die adorale Wimperspirale in ganzer Ausdehnung begleitet.

Bei *Campanella umbellaria* (Fig. 255), die wir als letztes und höchst entwickeltes Beispiel betrachten wollen, verlaufen die Längsmyoneme auch in dem basalen Körperabschnitt oberflächlicher und vorn

gehen sie nicht nur untereinander, sondern auch mit den Ringmyonemen des Peristomsaumes Anastomosen ein, um an dem vordersten Ringmyonem zu enden, ohne die adorale Zone zu erreichen. Die Ringmyoneme sind in der Zahl von 5—6 vorhanden und können durch einzelne Verzweigungen miteinander anastomosieren; unter ihnen ist das vorderste, am äußersten Rande des Peristoms gelegene bedeutend stärker als die übrigen und bandförmig. Ein kräftiges Spiral- und Vestibularmyonem entspricht dem von Vorticella. Außerdem aber sind ferner noch vorhanden:

d) Retraktoren der Peristomscheibe, welche, an beiden Enden pinselartig zerfasert, von der adoralen Zone schief nach hinten und außen zur Körperoberfläche ziehen. An ihrem hinteren Ende stehen sie wahrscheinlich mit den Längsmyonemen in Verbindung, von denen sie sich wohl auch erst auf Grund besonderer Differenzierung abgezweigt haben (vgl. vorstehend Epistylis unter a).

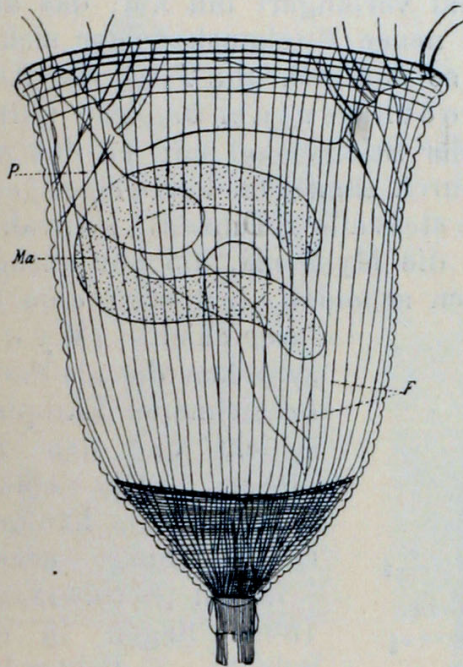


Fig. 255.

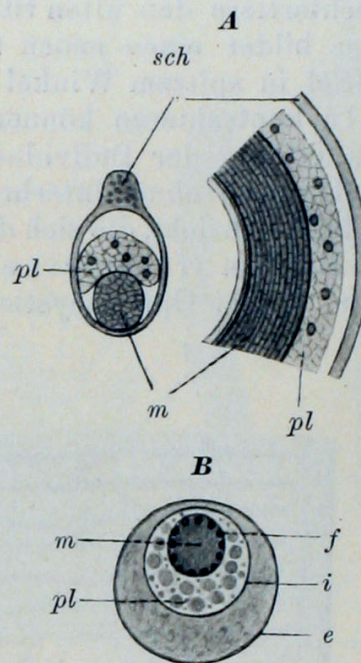


Fig. 256.

Fig. 255. **Campanella umbellaria** (L.). Schematische Darstellung des Verlaufs der Körpermyoneme. *F* Längsfasern, *Ma* hufeisenförmiger Makronucleus, *P* Rückziehfasern des Peristoms. Nach SCHRÖDER 1906 aus DOFLEIN.

Fig. 256. **Bau des Vorticellenstieles.** *A* Quer- und Längsschnitt durch den Stiel von **Vorticella monilata** TATEM. Nach SCHRÖDER 1906. *m* Stielmuskel, *pl* Plasmastrang, *sch* pseudo-chitinöse Stielscheibe. *B* Querschnitt durch den Stiel von **Zoothamnium alternans** nach KOLTZOFF 1912. *f* Fibrillen, *e* äußere und *i* innere Hülle, *m* Stielmuskel, *pl* Plasma.

e) Ringmyoneme des basalen Körperabschnittes (ohne Homologen bei Epistylis und Vorticella), dicht nebeneinander verlaufend und nach vorn gerade bis zu der Stelle des hinteren Wimperringes reichend, die an Individuen ohne entwickelten Wimperkranz durch ein dunkles, ringförmig die äußere Körperhülle unterbrechendes und der Basallamelle entsprechendes Band kenntlich ist.

Bei Epistylis und Campanella besteht der Stiel, mit dem die Tiere festsitzen, lediglich aus einer Pseudochitinabscheidung, ohne Beteiligung lebenden Plasmas (vgl. den Abschnitt über Haftorganellen), ist daher auch nicht kontraktile. Bei Vorticella dagegen und ebenso bei Cariche-

sium und Zoothamnium vereinigen sich die Längsmyoneme am Hinterende des Körpers zu einem einheitlichen kräftigen Stielsmuskel (Fig. 63, *My* und 256, *m*), der, umgeben von etwas Protoplasma, in die Pseudochitinröhre des Stieles (Stielscheide) eintritt und in ihr exzentrisch (Fig. 256) in einer langgestreckten Spirale entlang läuft (Fig. 63). Entsprechend seiner Entstehung aus den Längsmyonemen läßt er noch deutlich den Aufbau aus einzelnen Fibrillen erkennen (Fig. 256, B, *f*). Sein spiraler Verlauf bedingt es, daß bei seiner Kontraktion der Stiel sich schraubenförmig verkürzt; Nachlaß der Kontraktion führt durch die Elastizität der Stielscheide von selbst wieder zur Streckung des Stieles. Bei der einzeln lebenden Vorticella reicht der Stielsmuskel durch den ganzen Stiel bis zu dessen Basis; bei den koloniebildenden Gattungen Carchesium und Zoothamnium verhält er sich verschieden. Bei Carchesium hängen die Stielsmuskeln der Einzelindividuen nicht miteinander zusammen; bei der Teilung eines Individuums behält das eine der beiden Tochtertiere den alten Stiel bei und verlängert ihn nur, das andere dagegen bildet einen neuen Stiel und neuen Stielsmuskel, der sich dem alten Stiel in spitzem Winkel ansetzt, so daß sich alle Tiere der Kolonie einzeln kontrahieren können. Bei Zoothamnium dagegen teilt sich bei der Teilung der Individuen auch der Stielsmuskel mit, so daß er zusammenhängend ohne Unterbrechung durch sämtliche Verzweigungen des Stieles hindurchzieht, die sich daher auch stets alle gleichzeitig kontrahieren.

2. Bei den Gregarinen bilden die Myoneme, die nur ausnahmsweise (z. B. bei Ophryocystis) zu fehlen scheinen, fast stets eine Ring-

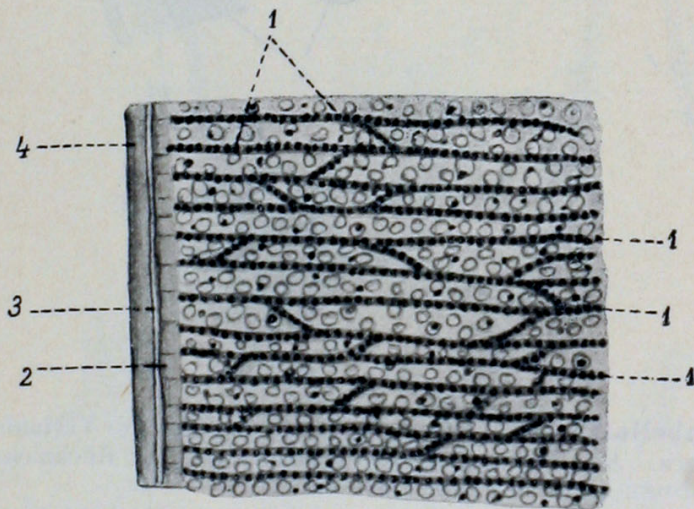


Fig. 257. **Gregarina munieri** SCHNEID. Stück der Oberfläche. 1 Myoneme, anastomosierend, 2 Sarcocyst, 3 Gallertschicht, 4 Cuticula. Nach SCHEWIAKOFF 1894. Vergr. 1500 : 1.

faserschicht (*Myocyt*) zwischen der als Sarcocyst bezeichneten Ektoplasmaschicht und dem Endoplasma. Die einzelnen Fibrillen, die häufig eine Querstreifung erkennen lassen (SCHEWIAKOFF

1894) liegen in dieser Schicht dichtgedrängt nebeneinander und sind nicht selten durch Anastomosen miteinander verbunden (Fig. 257). Bei den Polycystideen bewirkt die ektoplasmatISCHE Scheidewand zwischen Proto- und Deutomerit eine schmale ring-

förmige Unterbrechung der Fibrillenschicht und entsprechend fehlen die Myoneme vollständig in dem rein ektoplasmatiscHEN Epimerit. Kontraktion der Myoneme führt zu peristaltischen Bewegungen, neben denen auch seitliche Krümmungen und Streckungen des Gregarinenkörpers vorkommen (über die gleitende Bewegung siehe S. 252).

In der Längsrichtung des schlanken Körpers verlaufen die dann nur sehr wenig zahlreichen Myoneme bei den Selenidien (Darmparasiten mariner Anneliden), die hierdurch in einen bemerkenswerten Gegensatz zu den übrigen Gregarinen treten und deren schlängelnde Bewegungen an die von Nematoden erinnern.

Den Myonemen der Ciliaten und Gregarinen bis zu einem gewissen Grade vergleichbare kontraktile Fäden finden sich auch bei der Radiolarienordnung der Acantharien in Gestalt der sogenannten Myophrisken. Die radiären Stacheln der Acantharien bleiben bei ihrem Austritt aus dem Weichkörper des Radiolars noch von einer Fortsetzung des Calymma wie von einer Scheide umgeben und an deren Oberfläche finden sich die Myophrisken zu 8–30 im Kranze um den Stachel angeordnet, derart daß sie zusammen einen Kegel bilden (Fig. 258 und 259). Von den Myonemen der Ciliaten und

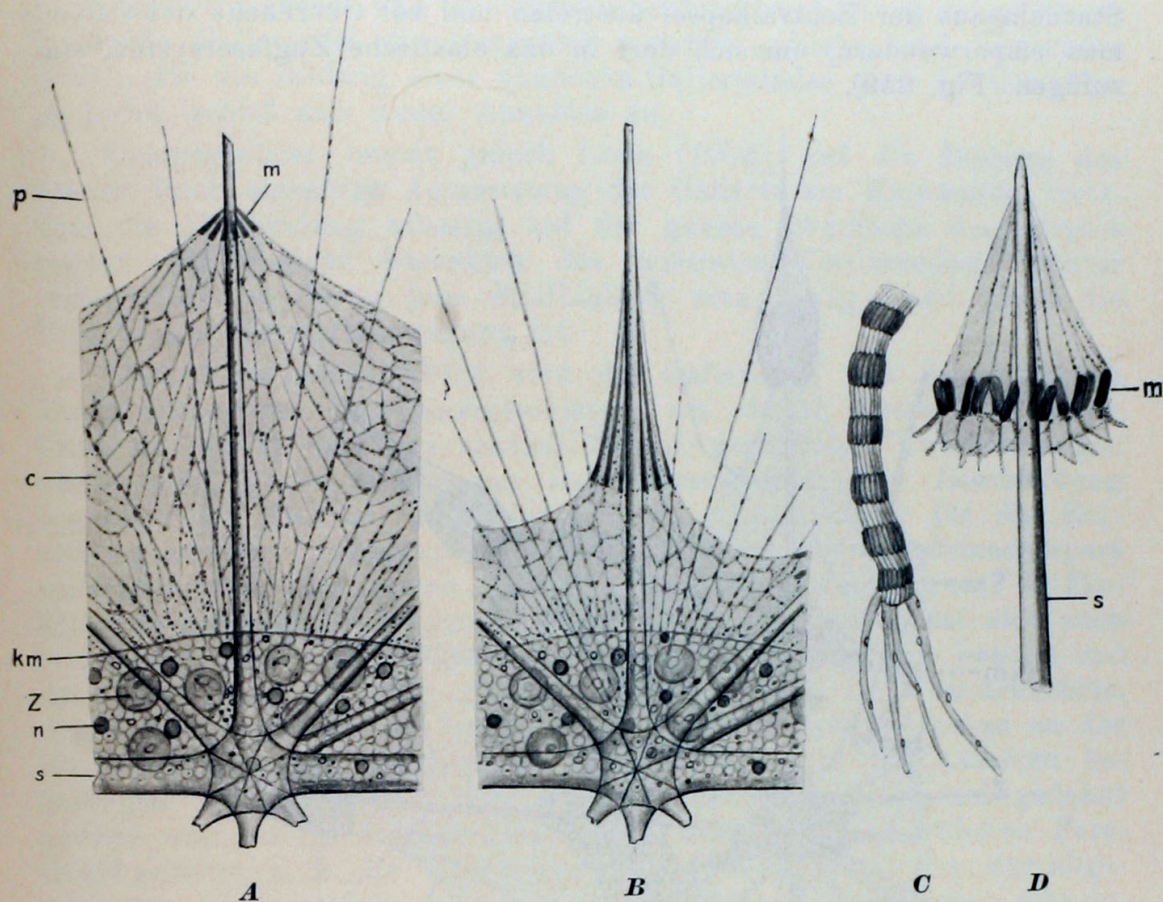


Fig. 258. **Myophrisken von Acanthometriden.** *A* Ein Teil des Körpers von *Amphilonche elongata* J. MÜLL. mit kontrahierten Myophrisken und ausgedehntem Calymma. Vergr. 600:1. *B* Derselbe mit ausgestreckten Myophrisken und eingezogenem Calymma. Vergr. 1733:1. *C* Ein einzelner Myophrisk von *Acanthonia fragilis* HAECK. mit den ihn kranzförmig umgebenden (kontrahierten) Myophrisken. Vergr. 600:1. *D* Ein Stachel von *Acanthomethron siculum* HAECK. mit den ihn kranzförmig umgebenden (kontrahierten) Myophrisken. Vergr. 600:1. *c* Calymma, *km* Kapselmembran, *m* Myophrisken, *n* Kerne, *p* Pseudopodien, *s* Stachel (in *A* und *B* sind die quer liegenden Stacheln die beiden langen Äquatorialstacheln und der nach oben gehende ein kurzer Äquatorialstachel), *Z* Zoochlorellen. Nach SCHEWIAKOFF 1902.

Gregarinen unterscheiden sie sich außer durch ihre charakteristische Anordnung auch durch verhältnismäßig geringe Länge bei ziemlich beträchtlicher Dicke. An ihren beiden Enden stehen sie mit „Zugfasern“ des Protoplasmas in Verbindung, durch deren Vermittelung sie einerseits an dem Stachel befestigt sind und andererseits auf die Oberfläche des Calymma wirken. Auf Reizung ziehen sie sich ziemlich rasch und plötzlich zusammen und bewirken dadurch eine Ausdehnung des Calymma, in das offenbar von außen Wasser eintritt.

Veränderung des Kontraktionszustandes der Myophrisken bewirkt also durch Veränderung des Volumens des Calymma und damit des ganzen Tierkörpers auch eine Veränderung des spezifischen Gewichtes des letzteren. Die Myophrisken wären hiernach hydrostatische Organe.

Während man bisher die Myophrisken gleich den Myonemen anderer Protozoen für Differenzierungen der oberflächlichen Plasmaschichten hielt, sollen sie nach MOROFF und STIASNY (1909) umgewandelte Kerne darstellen, die sich stark in die Länge gestreckt haben und dann längs der Stacheln aus der Zentralkapsel austreten und zur Oberfläche des Calymmas emporwandern, um sich dort in das elastische Zugfasersystem einzufügen (Fig. 259).

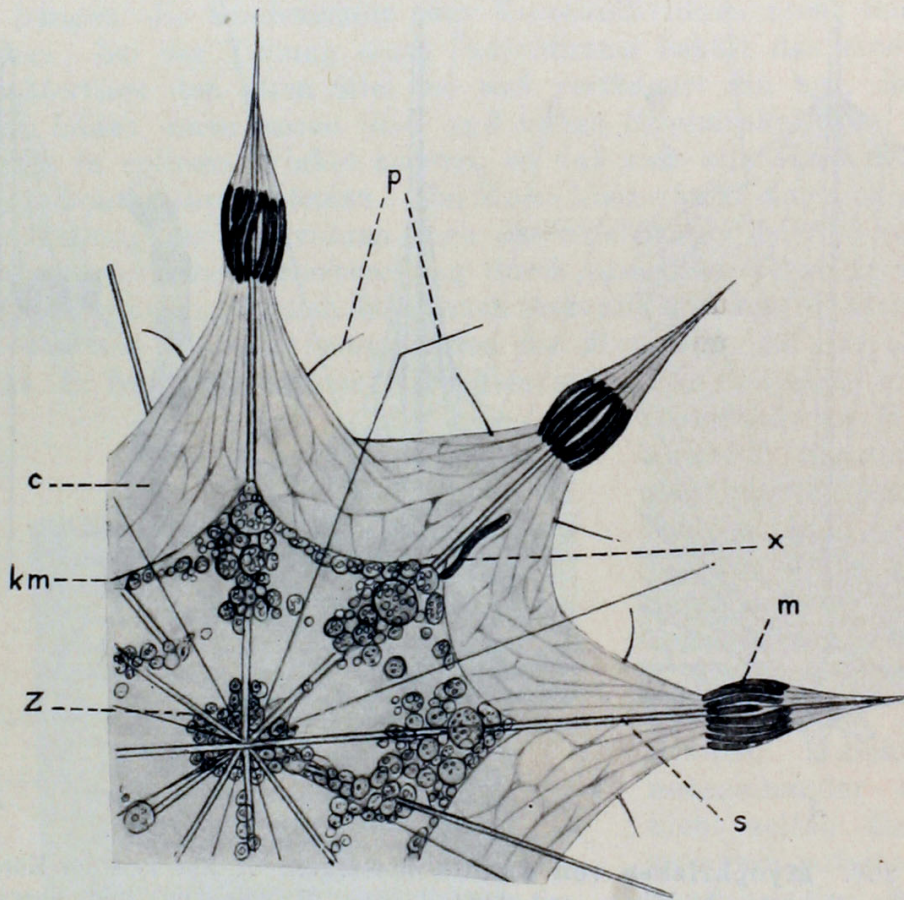


Fig. 259. *Acanthometron pellucidum*, ein Quadrant des Körpers. *c* Calymma, *km* Membran der Zentralkapsel, *m* Myophrisken, *p* Pseudopodien, *s* Stachel, *x* aus der Zentralkapsel zur Oberfläche des Calymmas wanderndes Entwicklungsstadium eines Myophrisken, *z* Zentralkapsel mit zahlreichen Kernen. Nach MOROFF und STIASNY 1909.

Anhang: Die gleitende Vorwärtsbewegung der Sporozoen.

Bei den Gregarinen und den frei beweglichen Entwicklungsstadien (Merozoiten und Sporozoiten) der Coccidien, nach SCHAUDINN (1902) auch bei den Merozoiten und Sporozoiten der Malariaparasiten kommt neben den peristaltischen Bewegungen und den Krümmungen und Streckungen, die auf Kontraktion des Körpers und seiner Myoneme beruhen, noch eine gleitende Vorwärtsbewegung vor, die im allgemeinen nicht von wahrnehmbaren Veränderungen der Körperform begleitet ist. Ohne sichtbare Tätigkeit irgendwelcher motorischer

Organellen gleiten die Tiere, gleichsam mühelos, langsam und stetig, immer mit dem Vorderende voran, dahin.

Eine völlig befriedigende Erklärung hat diese eigenartige Bewegungsart noch nicht gefunden. Am meisten Anklang fand der Erklärungsversuch von SCHEWIAKOFF (1894), der sich darauf stützt, daß die gleitende Gregarine eine stielartige Gallertspur hinterläßt, die sich leicht beobachten läßt, wenn man der Flüssigkeit, in der sich die Gregarinen befinden, sehr fein verriebene Tusche, Sepia oder Karmin zufügt (vgl. Fig. 156 auf S. 160). SCHEWIAKOFF nahm nun an, daß der mit der Unterlage verklebende und bei fortschreitender Ausscheidung immer länger werdende Gallertstiel die Gregarine vorwärts schiebt, und SCHAUDINN (1900), der die Bildung eines ähnlichen Gallertstieles auch bei Coccidien nachwies, schloß sich dieser Annahme an.

Demgegenüber betont jedoch LÜHE (1904), daß die Bildung des Stieles durch einseitige Ansammlung der Gallerte am Hinterende, trotzdem die Abscheidung allseitig auf der ganzen Oberfläche des Körpers erfolgt (mit einziger Ausnahme des äußersten Vorderendes) leichter verständlich ist, wenn jene Stielbildung eine Folge und nicht die Ursache der Vorwärtsbewegung ist.

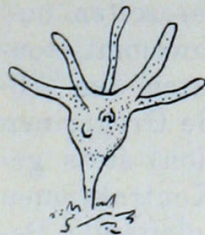
Nach AWERINZEW (1910) wird der Gallertstiel von der Gregarine häufig losgerissen und nachgeschleppt, um dann wieder anzukleben. CRAWLEY (1902) fand bei speziell darauf gerichteten Untersuchungen häufig eine Vorwärtsbewegung in Zickzacklinien, die Beschreibung bogenförmiger Bahnen, ohne daß die von SCHEWIAKOFF für die Entstehung solcher vorausgesetzte seitliche Knickung des Gregarinenkörpers vorhanden war, und andere mit der obigen Theorie nicht recht in Einklang zu bringende Bewegungsformen. Unter Umständen ließ sich auch beobachten, daß eine Gregarine, die sich etwas vorwärts bewegt und dann Halt gemacht hatte, plötzlich in ihre frühere Lage zurückkehrte, wobei die hinter ihr an ihrem Gallertstiel haftenden Körnchen an der Rückwärtsbewegung teilnahmen, und zwar die ihr am nächsten befindlichen am stärksten. Hier war offenbar der Gallertstiel gedehnt worden und infolge eigener Elastizität wieder zu seiner früheren Form zurückgekehrt, d. h. die Vorwärtsbewegung hatte einen von der abgeordneten Gallertmasse ausgeübten Widerstand überwinden müssen, statt durch sie bewirkt zu sein. Da diese Erscheinung nur beobachtet wurde, wenn die Gregarine sich von nahe befindlichem Darmepithel des Wirtes fortbewegte, so legt sie die Vermutung nahe, daß die Gallerte, als Haftorganelle wirkend, von Bedeutung dafür ist, daß die frei im Darm lebenden Gregarinen (und entsprechend auch die Merozoiten und Sporozoiten der Coccidien) nicht mit dem Kote hinausgeschwemmt, sondern im Darmlumen festgehalten werden (vgl. hierzu auch unten den Abschnitt über Haftorganellen). Nach CRAWLEY lassen gleitende Gregarinen bei starken Vergrößerungen (zum Teil erst bei Oelimmersion) stets geringfügige seitliche Bewegungen des Vorderendes und Kontraktionen der Myoneme erkennen und er faßt daher die sogenannte gleitende Bewegung als eine Stembewegung auf, indem die Gregarine einen Teil ihrer Oberfläche an einer Unterlage thigmotaktisch fixiert und auf diesen einen rückwärts gerichteten Druck ausübt, der infolge der Unmöglichkeit des fixierten Teiles, diesem Drucke auszuweichen, die ganze Gregarine in der entgegengesetzten Richtung, d. h. nach vorwärts, fortbewegt.

III. Haftorganellen.

Die Fähigkeit, sich vorübergehend oder dauernd festzuheften, ist bei Protozoen außerordentlich weit verbreitet. Die hierbei in Tätigkeit tretenden Organellen sind ursprünglich meist Bewegungsorganellen; eine der besonderen Aufgabe angepasste Differenzierung führt dann einerseits zu Stielbildungen, andererseits zu Saugnapfbildungen. Die Stielbildungen können eine weitergehende Komplikation erfahren durch die sehr häufige Beteiligung alloplasmatischer Hüll- oder Skelettbildungen. An sie lassen sich auch die durch einseitige Differenzierung entstandenen, in die Gewebe des Wirtes eindringenden Epimerite der Gregarinen anschließen.

1. Thigmotaxis und Stielbildung bei Rhizopoden. Die einfachste Form der Festheftung bieten uns die Pseudopodien der Rhizopoden, die einerseits bei leiser Berührung sich positiv-thigmotaktisch verhalten, d. h. sich dem berührenden Körper zuwenden, andererseits bei mechanischer Reizung klebrig werden und dadurch an der Unterlage festhaften.

Eine in ein Glasschälchen mit Seewasser gelegte Foraminifere beginnt nach einiger Zeit Pseudopodien auszusenden, die zunächst in Form kurzer Fäden frei im Wasser flottieren. „Bald aber, indem sie länger und schwerer werden, senken sie sich mit den Enden auf die Unterlage, haften mittels eines feinen Sekretes hier fest, und nun beginnt das Protoplasma lebhaft auf der Unterlage entlang zu strömen, ohne sich je wieder frei ins Wasser zu erheben“ (VERWORN). Bei *Peneroplis* ist die Klebrigkeit der Pseudopodien nach WINTER (1907) so groß, daß mittels Glasröhren durch Saugen im Wasser emporgehobene, aber wieder entschlüpfte und herabsinkende Exemplare nur leicht mit der Glasröhre berührt zu werden brauchen, um so fest haften zu bleiben, daß man sie aus dem Aquarium herausnehmen kann. Die hier in Erscheinung tretende Thigmotaxis ermöglicht es den Foraminiferen, an den senkrechten Glaswänden der Aquarien emporzukriechen, und ihre Kraft kann sogar die Kohäsion des Protoplasmas überwiegen. Die rasche und vollständige Einziehung der langen feinen Prototoplasmanetze von *Lieberkühnia wagneri* CLAP. u. L. nach starker mechanischer Erschütterung erfolgt nämlich nach VERWORN häufig mit einem solchen Ruck, daß die am Objektträger klebenden Enden abreißen.



Auch bei einzelnen beschalteten Amöbinen (z. B. *Phryganella paradoxa*, *Cryptodifflugia fulva*) ist die vorübergehende Festheftung mit Hilfe einzelner Pseudopodien eine ganz außerordentlich feste, so daß die Tiere auch durch starke Wasserströmung nicht fortgerissen werden.

Fig. 260. *Amoeba gorgonia* PEN., mit einem Pseudopod am Untergrunde angeheftet. Nach PENARD 1902.

Bei *Amoeba gorgonia*, die ebenfalls eine sehr ausgesprochene Neigung hat, sich mit einem ihrer fingerförmigen Pseudopodien auf einer Unterlage anzuheften, wird hierdurch in auffälliger Weise auch die Form des ganzen Tieres beeinflusst, die direkt an *Hydra* erinnert (vgl. Fig. 260).

Von einem derartigen einfachen thigmotaktischen Verhalten ausgehend, hat sich bei einzelnen Sarcodinen eine dauernde Festheftung entwickelt, die bei Heliozoen und Radiolarien zu langen Stielbildungen geführt hat, während bei den festsitzenden Foraminiferen Stielbildungen weniger ausgeprägt sind oder ganz fehlen.

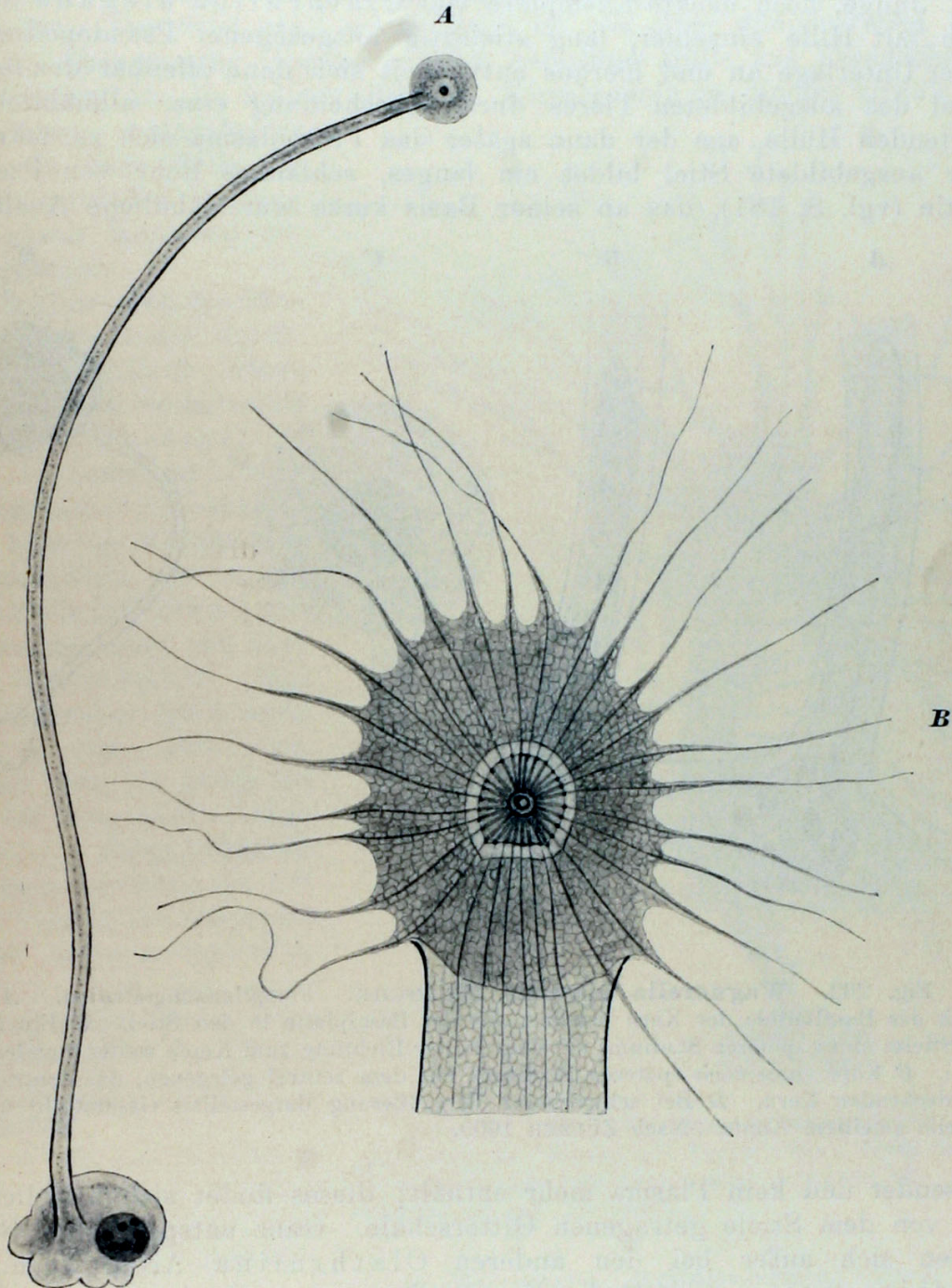


Fig. 261. **Wagnerella borealis** MERESCHK. **A** Gesamtbild eines konservierten Exemplares mit zurückgezogenen Pseudopodien. **B** Kopf mit Zentralkorn und Axopodien, wesentlich stärker vergrößert. Nach ZÜLZER 1909.

1. Heliozoa. Die nackte Nuclearia caulescens sitzt zeitweise auf einem sehr langen, dünnen, aus Umwandlung eines Pseudopodiums hervorgehenden Stiele fest, während sie zu anderen Zeiten nach Art anderer Heliozoen frei schwebt. Zooteirea religata hat einen langen kontraktile Stiel, vermittelt dessen sie sich in eine kurze

gallertige, die Basis des Stieles umgebende Röhre zurückziehen kann. Bei *Actinolophus pedunculatus* und *Haeckelina borealis* sind die langen schlanken Stiele dagegen starr. Besser als sie bekannt sind auf Grund neuerer Untersuchungen von PENARD (1904) und ZÜLZER (1909) die Stielbildungen von *Clathrulina* und *Wagnerella*.

Junge, noch nackte Exemplare von *Clathrulina elegans* heften sich mit Hilfe einzelner, lang stielartig ausgezogener Pseudopodien an einer Unterlage an und hieraus entwickelt sich dann offenbar der fertige Stiel des ausgebildeten Tieres durch Abscheidung einer allmählich erhärtenden Hülle, aus der dann später das Protoplasma sich zurückzieht. Der ausgebildete Stiel bildet ein langes, schlankes Rohr von Pseudochitin (vgl. S. 181), das an seiner Basis kurze wurzelähnliche Ausläufer

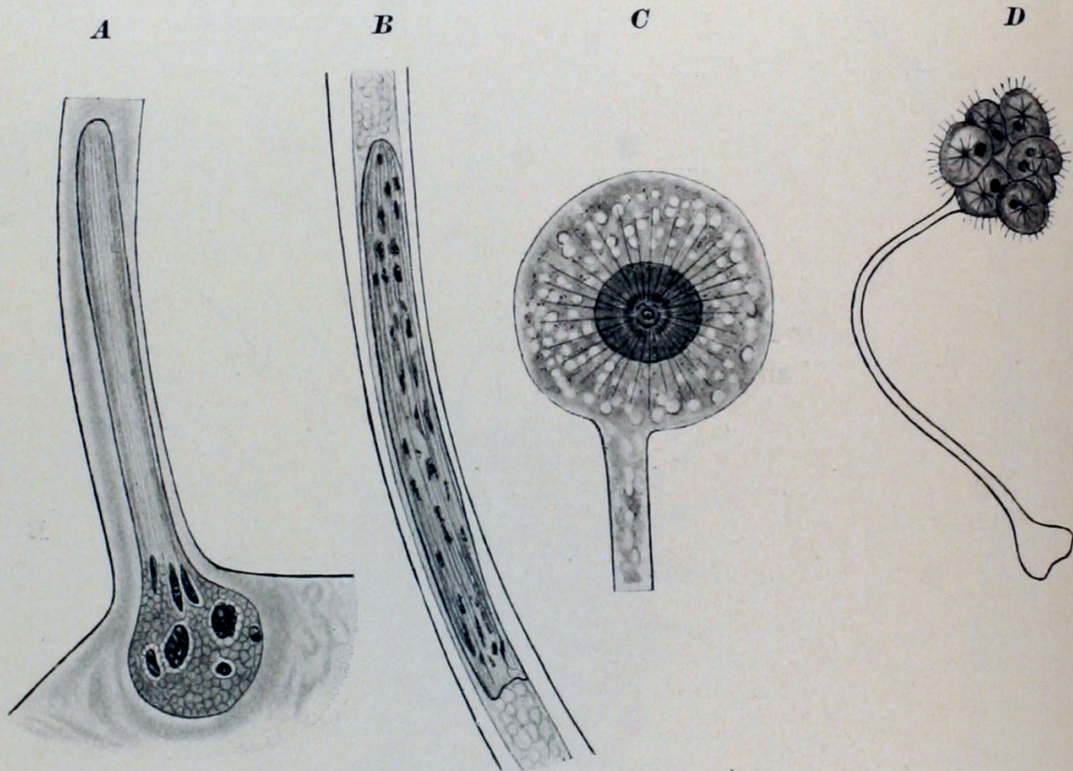


Fig. 262. **Wagnerella borealis** MERESCHK. Fortpflanzungsstadien. *A* Ein Stück des Basalteiles; der Kern wandert aus der Basalplatte in den Stiel. *B* Ein Stück des Stieles eines späteren Stadiums mit dem in der Richtung zum Kopfe weiter wandernden Kern. *C* Kopf eines noch späteren Stadiums mit dem zentral gelegenen, das Zentralkorn überdeckenden Kern. *D* Bei schwächerer Vergrößerung dargestelltes Gesamtbild mit in 6 Teile geteiltem Kopfe. Nach ZÜLZER 1909.

entsendet und kein Plasma mehr enthält; dieses findet sich lediglich in der von dem Stiele getragenen Gitterschale. Ganz entsprechende Stiele finden sich außer bei den anderen *Clathrulina*-Arten auch bei *Hedriocystis*, nur läuft die Stielbasis bei *Hedr. reticulata* anstatt in wurzelähnliche Ausläufer in eine kleine rundliche Platte aus.

Bei *Wagnerella borealis* liegen wesentlich kompliziertere Verhältnisse vor. Nicht nur enthält der bis 2,5 mm lang werdende, aber auch im Vergleich zum Köpfchen ziemlich dicke Stiel während des vegetativen Lebens dauernd Protoplasma, sondern es findet sich sogar der Kern in dem stark verbreiterten, am Rande unregelmäßig eingekerbten Basalteil des Stieles, während das Köpfchen nur das Zentralkorn enthält, von dem die Fibrillen der Axopodien ausstrahlen (Fig. 261). Eine sehr lebhafteste Plasmaströmung im Stiel hängt offenbar mit der weiten Ent-

fernung des Kernes von dem die Nahrung aufnehmenden Köpfchen zusammen. Nur wenn das Tier sich zur Teilung anschickt, wandert der Kern, der sich zu diesem Zwecke stark wurstförmig in die Länge strecken muß, von der Stielbasis zum Köpfchen und schließlich entleert sich alles Plasma aus dem Stiel (Fig. 262). Bei multipler Vermehrung erfolgen aber auch noch die Teilungen des Kernes zum großen Teil innerhalb der Stielbasis. Der Stiel samt seiner Basis ist von einer dünnen (etwa 1 μ dicken), aber starren, festen, gelblich gefärbten Hülle aus Pseudochitin umschlossen, in die halbmondförmige Kieselnadeln in dichter zirkulärer Anordnung eingelagert sind. In diese Hülle des Stieles wird bei Reizung das ganze Köpfchen zurückgezogen.

2. Unter den Radiolaria, die sonst durchweg planktonisch leben, ist nur eine festsitzende Form, *Podactinelius sessilis* SCHRÖDER (1908), aus der Antartik bekannt. Der kugelige Körper mißt einschließlich der langen Radiärstacheln etwa 1 mm im Durchmesser, und über die Stachelspitzen ragt ein schlanker Stiel noch 1—1½ mm weit vor. Dieser Stiel ist durch ein Bündel seine ganze Länge parallel durchziehender Stacheln gestützt, die nur durch wenig Weichkörpermasse zusammengehalten werden, und mit einer verbreiterten Basalplatte auf Fremdkörpern (Bryozoen, Seeigelstacheln usw.) befestigt.

3. Bei den festsitzenden Foraminifera kommt es nicht zu derartig ausgesprochenen Stielbildungen. Meist liegen sie der Unterlage verhältnismäßig flach auf, doch können sich namentlich agglutinierende Formen auch verhältnismäßig hoch von der Unterlage erheben, auf der sie dann auch wieder mit basaler Verbreiterung aufsitzen (Fig. 263). Unter den kalkschaligen Formen kann infolge des Festwachsens der anfänglich spiral beginnenden Schale die Anordnung der späteren Kammern mehr oder weniger unregelmäßig werden, so daß z. B. bei *Polytrema* eine nahezu baumförmige Gesamtform entstehen kann, die anfangs dazu verführte, diese Form zu den Korallen (*Millepora*) zu stellen. Die Anheftung dieser Foraminiferen ist so fest, daß sie nur gewaltsam und meist

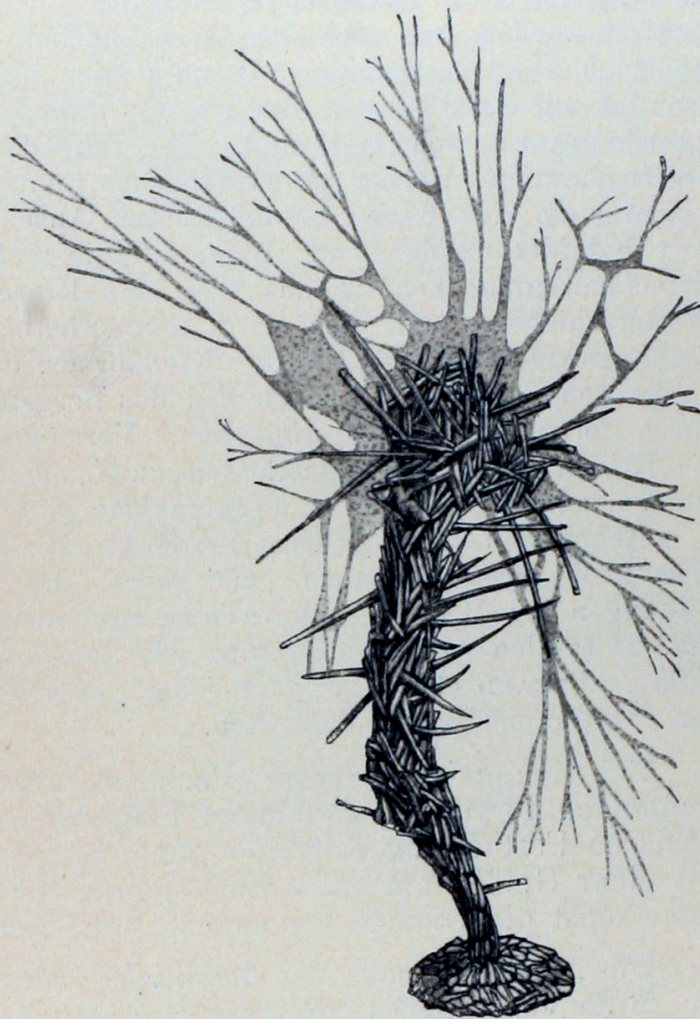


Fig. 263. *Haliphysema tumanowiczii*. Agglomerierende, festsitzende Foraminifere, deren Schale größtenteils aus Schwammnadeln aufgebaut ist. Nach LANKESTER aus DOFLEIN.

nicht an der wirklichen Grenzfläche von ihrer Unterlage abgelöst werden können.

2. Thigmotaxis und Stielbildung bei Flagellaten. Soweit die Flagellaten amöboide Bewegungen zeigen, finden wir bei ihnen ähnliche thigmotaktische Erscheinungen wie bei den Amöbinen. Besondere Erwähnung verdienen nur die Klebkörner einiger größeren Rhizomastiginen.

Bei *Mastigella vitrea* GOLDSCHMIDT (1907) sind es kleine Körner von kurz stabförmiger Gestalt, die beim wandernden Tier nie vermißt werden und sich hier ausschließlich am Hinterende finden, wo sie auch etwa vorhandene Pseudopodien bedecken. Sie liegen oberflächlich auf der Pellicula, der sie mit ihrer Längsseite in unregelmäßiger Anordnung angeschmiegt sind. Bei ruhenden Tieren findet man bisweilen ähnliche Körner im Endoplasma, mitunter in kranzförmiger Anordnung um den Kern, so daß es den Anschein gewinnt, als wenn sie dort gebildet werden und später an die Oberfläche wandern. Bei der Kriechbewegung benutzt das Tier sein Hinterende als Stützpunkt zum Weiterschieben, und dies wird ihm offenbar durch den vermehrten Reibungswiderstand seitens der Klebkörner, die GOLDSCHMIDT funktionell direkt den Nägeln an den Schuhen des Bergsteigers vergleicht, wie auch durch deren Klebrigkeit erleichtert. Vermöge dieser Klebrigkeit spielen die Körner, die unter Umständen zu feinen Fäden ausgezogen werden können, auch bei der Nahrungsaufnahme eine nicht unwichtige Rolle.

Ähnlichen Klebkörnern verdankt *Mastigamoeba aspera* (Fig. 224) ihren Artnamen und auch die haar- oder borstenartigen Bildungen bei *Mastigina setosa* und anderen Rhizomastiginen (vgl. Fig. 2) werden von GOLDSCHMIDT als „ausgewachsene Klebkörner“ aufgefaßt. PENARD (1909) erklärt jedoch demgegenüber die „Klebkörner“ von *Mastigamoeba* für Bakterien.

Bei den mit festerem Periplast versehenen und daher der amöboiden Bewegung unfähigen Flagellatenarten erfolgt die thigmotaktische Festheftung entweder mit dem geißelfreien Hinterende oder mit einer Geißel, nur nach Rückbildung der Geißeln auch direkt mit dem (sonst die Geißeln tragenden) Vorderende.

Die Anheftung mit dem Zellkörper selbst ist fester wie die nur mit Hilfe einer Geißel erfolgende: *Euglena viridis*, die sich mit ihrem Hinterende festheftet (anscheinend ähnlich den Amöbinen durch Abscheidung einer Schleimschicht), löst sich auch bei Temperatursteigerung bis zu todbringender Höhe (51—54° C) nicht von der Unterlage ab; *Chilomonas paramecium* dagegen, die sich mit einer Geißel anheftet, löst sich bei 36° C los, um lebhaft umherzuschwimmen (Tod tritt bei 41° C ein). *Polytoma* u. a. heften sich ähnlich den Euglenen mit dem Zellkörper selbst mit sehr bedeutender Kraft fest. *Euglena* kann unter Verlust ihrer Geißel mit Hilfe ihres Festheftungsvermögens unter Wechsel zwischen Streckung und starker Kontraktion Kriechbewegungen ausführen, die mitunter fast spannerartig erscheinen.

Eingeißlige freilebende Flagellaten scheinen sich nur mit ihrem Körper festzuheften, nicht mit der Geißel, die im Gegenteil negativ thigmotaktisch reagiert, d. h. bei Berührung sich selbst und damit auch das sie tragende Vorderende des Tieres von dem Fremdkörper fortwendet. Die einzige sichere Ausnahme ist *Ancyromonas*, bei der

aber die zur Festheftung benutzte einzige Geißel in geschlängeltem Verlaufe nach rückwärts gewandt ist und so mehr einer Schleppgeißel als den Schwimmgeißeln anderer Flagellaten gleicht. Die Schleppgeißel dient aber den eine solche besitzenden Formen allgemein zur zeitweisen Anheftung (z. B. *Bodo*, *Anisonema*), wie auch bei den Gehäuse bildenden Gattungen *Bicosoeca* (Fig. 5) und *Poteriodendron* der Weichkörper mit Hilfe eines morphologisch durchaus einer typischen Schleppgeißel entsprechenden Fortsatzes in seinem Gehäuse befestigt ist. Aber auch bei mehrgeißeligen Formen ohne Schleppgeißel kommt Festheftung mit Geißeln vor, doch verankert sich z. B. *Chilomonas paramaecium* stets nur mit einer seiner beiden morphologisch gleich gestalteten Geißeln. Möglich, daß eine derartige physiologische Differenzierung der phylogenetische Ausgangspunkt für die Entwicklung von Schleppgeißeln war. Ob bei *Chlorangium*, das sich unter Rückbildung der Geißeln und unter Gehäuse- und Stielbildung mit seinem mehrere Geißeln tragenden Vorderende festsetzt, bei der anfänglichen Festheftung ebenfalls nur eine Geißel in Funktion tritt, ist nicht bekannt.

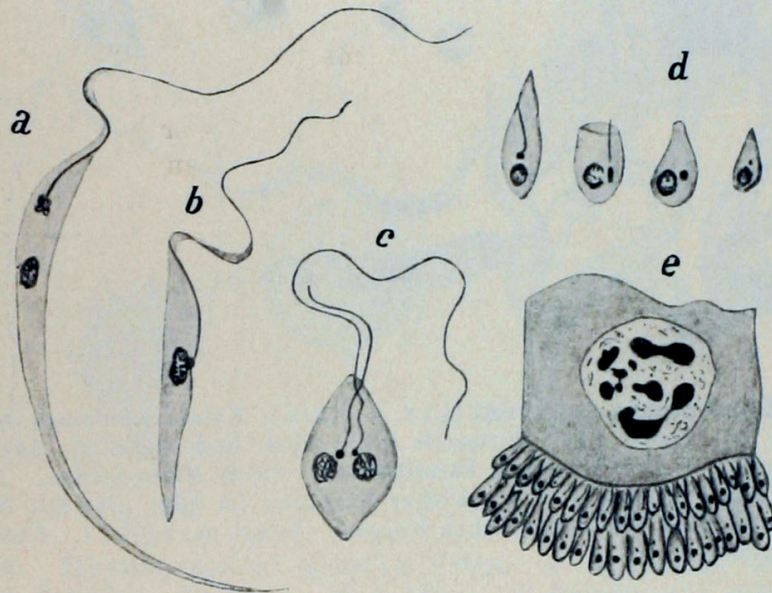


Fig. 264. ***Crithidia subulata*** (LÉG.), aus dem Darm von *Tabanus glaucopis* MEIG. *a*, *b* freibewegliche Flagellatenform, *c* dieselbe in Ruhe, *d* festsitzende Formen mit rückgebildetem Geißelapparat (sogenannte gregarinenähnliche Ruheform), *e* dieselben in großer Zahl an einer Darmepithelzelle fixiert. Vergr. 1800:1. Nach LÉGER aus LÜHE 1906.

Größere Bedeutung gewinnt die Festheftung mit dem Geißelende bei parasitischen Arten, und hier finden wir sie auch gerade bei eingeißeligen Formen. Bei Trypanosomen ist gelegentliche Anheftung mit dem Geißelende an roten Blutkörperchen beobachtet. Die trypanosomen-ähnlichen, im Darm von Insekten schmarotzenden *Crithidia*- und *Herpetomonas*-Arten heften sich an dem Darmepithel ihrer Wirte mit ihrem Geißelende an, indem sie den Geißelapparat rückbilden und, zu einem mehr oder weniger stilettförmigen Gebilde umgestaltet, in den Körper zurückziehen (Fig. 264). Solche „gregarinen-ähnlichen“ Ruheformen (LÉGER) hat PROWAZEK auch bei *Trypanosoma lewisi* im Darne der als Zwischenwirt dienenden Rattenlaus gefunden. Eine ähnliche, wenn auch bereits etwas weitergehende vorübergehende Festheftung liegt nach SCHAUDINN (1904) auch bei dem im Blute des

Steinkauzes schmarotzenden, früher zu den Hämosporidien gerechneten *Haemoproteus noctuae* vor (regelmäßiger Wechsel zwischen geißellosen Wachstumsstadien, die an den roten Blutkörperchen schmarotzen, und frei beweglichen trypanosomen-ähnlichen Stadien, die zur Aufsuchung anderer Blutkörperchen dienen). Eine derartige, mehr oder weniger lange dauernde vorübergehende Festheftung hat dann offenbar auch als Ausgangspunkt gedient zu der vollendeten Anpassung an den Zellparasitismus mit dauernder Rückbildung des Geißelapparates, die wir bei den zellschmarotzenden Blutparasiten (*Plasmodium*, *Proteosoma*, *Babesia*) finden. Von besonderem Interesse in diesem Zusammenhange ist auch die eigenartige *Leishmania*, ein Parasit des Menschen, der sich außerhalb des menschlichen Körpers in mit Natriumzitrat versetztem Blute künstlich züchten läßt und hierbei eine Geißel entwickelt, während sonst nur geißellose Formen bekannt sind (vgl. Fig. 265).

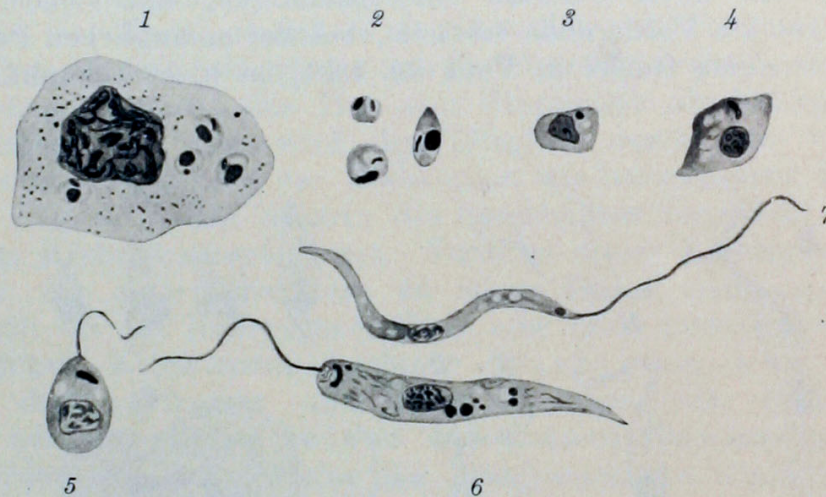


Fig. 265. ***Leishmania donovani*** (LAV. u. MESN.), Kala-Azar-Parasit des Menschen. 1 Vier Parasiten im Innern einer Wirtszelle (vermutlich Endothelzelle), durch Punktion der Milz gewonnen. 2 Drei einzelne Parasiten aus einem Milzausstrich. 3—7 Weiterentwicklung dieser Parasiten bei künstlicher Züchtung im Blut, das mit Natriumzitrat versetzt wurde, außerhalb des menschlichen Körpers. Vergr. ca. 1500 : 1. Nach LEISHMAN und STATHAM (1905).

Der Festheftung an einer Unterlage ist in gewissem Sinne auch die Agglomeration vergleichbar (gewissermaßen Festheftung mehrerer Individuen aneinander), die besonders bei Trypanosomen unter gewissen Umständen auftritt, nach LÜHE (1906) bei ungünstigen Lebensbedingungen. Dabei verkitten mehr oder weniger zahlreiche Individuen miteinander zu sternförmigen Knäueln. Meist sind die beweglich bleibenden Einzeltiere dem Zentrum des Knäuels mit dem geißelfreien Ende zugewandt, an dem hierbei eine klebrige, körnige Substanz ausgeschieden ist, anscheinend unter wesentlicher Mitwirkung des Blepharoplasten. Agglomeration mit dem Geißelende kommt anscheinend nur bei solchen Formen vor, bei denen der Blepharoplast, abweichend von dem Verhalten bei den gewöhnlichen Trypanosomen, zwischen Kern und Geißelende liegt (PROWAZEK 1905).

Ein sehr eigenartiges Haftorganell, das im Anschluß hieran noch besondere Erwähnung verdient, findet sich bei der pelagischen Flagellatengattung *Rhynchomonas* LOHMANN, bei der 3 Stadien sich unterscheiden lassen: 1) ein frei beweglicher Jugendzustand (Fig. 266, A) mit einer etwa körperlangen, nach hinten gerichteten Geißel, neben der

ein sehr beweglicher kurzer Fortsatz vom Vorderende entspringt; 2) ein ebenfalls noch frei bewegliches älteres Stadium (Fig. 266, *B*), bei dem der vordere Fortsatz zu einem scharf vom Rumpf abgesetzten fadenförmigen Rüssel ausgewachsen ist, während gleichzeitig jetzt die Geißel den herangewachsenen Rumpf an Länge erheblich überragt; endlich 3) ein geißelloser festsitzendes Stadium, das infolge Verkürzung des birnförmig gewordenen Rumpfes an Größe hinter dem vorigen etwas zurückbleibt (Fig. 266, *C*) und das sich mit seinem unverändert gebliebenen Rüssel im Gehäuse von Appendicularien verankert. Indem sich der Periplast von dem Rumpfe abhebt und nur am vorderen Pole mit dem übrigen Körper in Zusammenhang bleibt, nimmt der Flagellat schließlich die Form einer kugeligen Blase an. Die Form scheint im atlantischen Ozean und im Mittelmeer weit verbreitet zu sein.

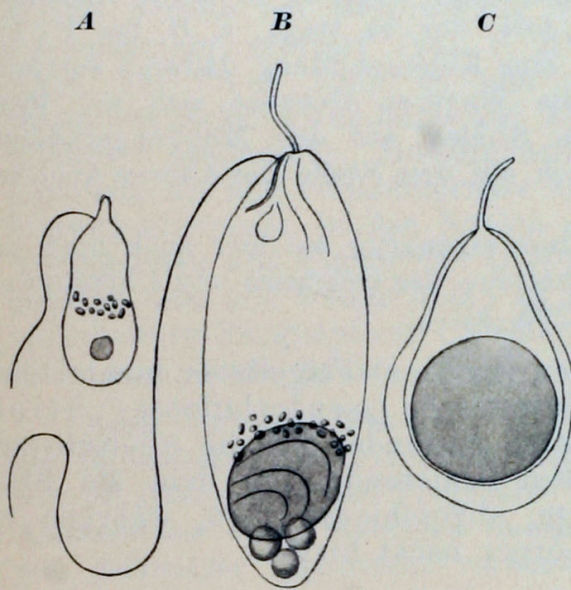


Fig. 266.

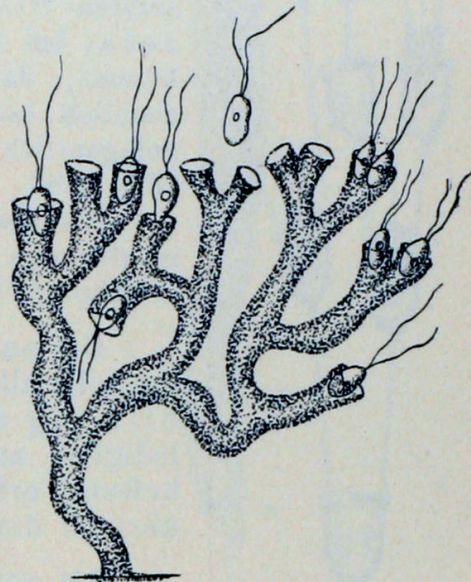


Fig. 267.

Fig. 266. **Rhynchomonas marina** LOHM. *A* Jugendform von 10 μ Länge. *B* Alte, noch begeißelte Form von 39 μ Länge. *C* Festsitzendes geißelloses Stadium. Nach LOHMANN 1903.

Fig. 267. **Cladomonas fructiculosa** ST. Erwachsene Kolonie. Endzweige der Gehäuseröhren zum Teil von den Flagellaten verlassen. Vergr. 225 : 1. Nach STEIN 1878.

Bei gehäusebildenden Flagellaten findet eine Festheftung nicht selten in der Weise statt, daß das Gehäuse (ähnlich der Schale der festsitzenden Foraminiferen) am Hinterende mit einer Unterlage verklebt. Bei fortdauernder Abscheidung von Gehäusesubstanz kann es dann zu verhältnismäßig langen Stielbildungen kommen.

Epipyxis und Salpingoeca z. B. sitzen mit dem kurz stielförmig ausgezogenen Hinterende ihres Gehäuses fest (Fig. 6).

Zu röhrenförmigen verzweigten Stielbildungen kommt es bei einigen Flagellaten, die bei dauernder Verlängerung ihres festsitzenden Gehäuses (vgl. S. 173 f.) vor bzw. bei ihrer Vermehrung durch Teilung nicht aus demselben ausschwärmen. So entstehen z. B. die dichotomisch verästelten Gallertröhren von *Cladomonas* (Fig. 267), die in dem frei vorragenden Ende jedes Astes ein Einzeltierchen beherbergen. Auch der überaus zierliche Röhrenbau von *Rhipidodendron* besteht aus ähnlichen dichotomisch verästelten Gallertröhren, die aber nicht isoliert bleiben,

sondern, dicht nebeneinander in einschichtiger Lage angeordnet, miteinander zu einem Fächer verkleben, der bei weiterem Wachstum in einzelne Fächerlappen ausstrahlen kann. Die Röhren sind am freien Rande des Fächers offen und beherbergen dort je ein Einzeltier. Die Kolonie wird von einem einzigen Tier gegründet, das eine einfache, von einer Unterlage aufstrebende Gallertröhre ausscheidet. Das Tier pflanzt sich durch Teilung fort, und dabei setzen die Tochterindividuen jedes für sich die Röhrenbildung in der Weise fort, daß die Anfangsröhre in zwei aneinander liegende, miteinander verwachsene Tochterröhren sich teilt; derart geht die Verästelung mit der Vermehrung der Tiere streng dichotomisch weiter.

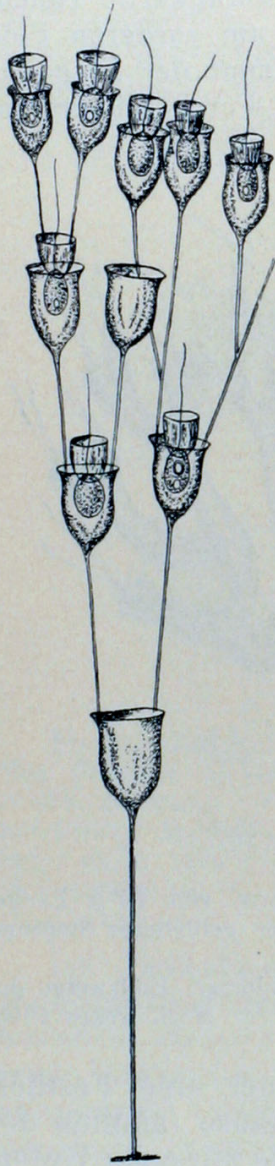


Fig. 268. **Polyoeca dichotoma** S. K.
Vergr. ca. 1000 : 1.
Nach SAVILLE KENT
1880—82.

In anderen Fällen setzt sich das mehr oder weniger glockenförmige Gehäuse in einen schlanken soliden Stiel fort, der es trägt, z. B. bei *Polyoecca*, bei der eine Koloniebildung dadurch zustande kommt, daß die jüngeren Gehäuse sich mit ihren ziemlich langen Stielen auf den Mündungsrändern, gelegentlich auch auf dem Stiele der älteren anheften (Fig. 268).

Als besonders eigenartig sei hier auch noch die ringförmige Anheftung des Gehäuses von *Chrysopyxis* erwähnt (Fig. 225, b).

Bei anderen (nackten) Flagellaten kommt eine ähnliche alloplasmatische (pseudochitinöse?) Stielbildung dadurch zustande, daß die Stielsubstanz lediglich an dem Hinterende, mit dem die Festheftung erfolgte, abgeschieden wird, während im übrigen der Körper nackt bleibt.

Als gut bekanntes Beispiel kann *Anthophysa* dienen. Hier sind die Einzelzellen zu köpfchenartigen Kolonien vereinigt, die auf verzweigten Stielen sitzen (Fig. 4). Die mit den Hinterenden vereinigten Zellen scheiden einen gemeinsamen, zuerst farblosen, später infolge von Eisenoxyd-Inkrustation braun werdenden, mehr oder weniger biegsamen Stiel aus.

Bei *Dendromonas* bildet dagegen jedes einzelne der durch Teilung des gestielten Stammindividuums entstehenden Tochterindividuen einen neuen Stiel, und das geht so weiter bis zur Bildung einer reichen regelmäßig dichotomisch verästelten Kolonie.

Wenn die vom gestielten Stammindividuums durch sukzessive Teilung entstehenden Abkömmlinge ihrerseits keine oder nur ganz kurze Stiele absondern, so entstehen Kolonien, bei denen ein Haufen oder ein Büschel von Individuen dem Ende eines gemeinsamen Stieles aufsitzt (z. B. *Codonosiga* mit kurzgestielten Einzelindividuen).

Wenn aber bei der ersten oder noch bei der zweiten, dritten, vierten usw. Teilung die Abkömmlinge des Stammindividuums zunächst noch Stiele bilden und erst bei späteren Teilungen die Stielbildung unterbleibt, so kommen trotz anderer Entstehung Kolonien zustande,

in denen ähnlich wie bei *Anthophysa* an den Zweigenden eines verästelten Stieles Gruppen oder Haufen von Einzelindividuen sitzen (z. B. *Cephalothamnium*, *Codonocladium*, Fig. 7).

Für die Art der Abscheidung dieses Stieles ist es charakteristisch, daß allem Anschein nach unverdaute Nahrungsreste sich an seinem Aufbau beteiligen. Jedenfalls hat schon EHRENBURG festgestellt, daß bei Fütterung von *Anthophysa*-Kolonien mit Indigo die Farbstoffkörnchen sehr bald an dem Hinterende der Einzeltiere wieder ausgeschieden und in die dort gleichzeitig sezernierte Stielmasse eingelagert werden.

3. Thigmotaxis und Stielbildung bei Infusorien. Daß thigmotaktischer Stillstand bei Infusorien eine sehr wichtige Rolle spielt, wurde bereits bei Besprechung von *Paramecium* erörtert (vgl. S. 105). Auch bei ihnen kann es nun auf thigmotaktischer Grundlage zur Ausbildung besonderer Haftorganellen kommen, die ihre vollkommenste Ausbildung einerseits in den Stielen der Vorticelliden und Suctorien, andererseits in dem erst weiter unten zu besprechenden Saugnapf der Urceolarien und Lichnophoren finden.

Auch bei den Infusorien ist mit der thigmotaktischen Fixierung ähnlich wie bei Rhizopoden und Flagellaten die Abscheidung einer klebrigen Substanz von gallertiger Konsistenz verbunden, deren Masse meist sehr gering, unter Umständen aber auch recht beträchtlich sein kann. So hat JENNINGS (1910) bei dem für gewöhnlich frei umherschwimmenden *Spirostomum* eine Anheftung mit einem langen Gallertstiel beobachtet (Fig. 269).

Haftorganellen in Pseudopodienform finden sich bei *Stentor*, der bald umherschwimmt, bald sich anheftet. Zur Festheftung dient das verjüngte Hinterende, der sogenannte Fuß, an dem das Ektoplasma stark verdünnt ist. Wenn sich das Tier auf einer festen Unterlage, z. B. an einer Glaswand, anheftet, so schmiegt sich der Fuß als rundliches Scheibchen an. Wenn es sich aber in losem Detritus oder in einem Zoogloenfz festsetzt, so verankert es sich, indem der Fuß allseitig typische verästelte oder unverästelte Pseudopodien entsendet. Ueber die „Tentakel“ von *Actinobolus*, fadenförmige Pseudopodien, deren ursprüngliche Haftfunktion gegenüber ihrer Bedeutung für die Ernährung zurücktritt, vgl. den Abschnitt über Organellen für die Nahrungsaufnahme.

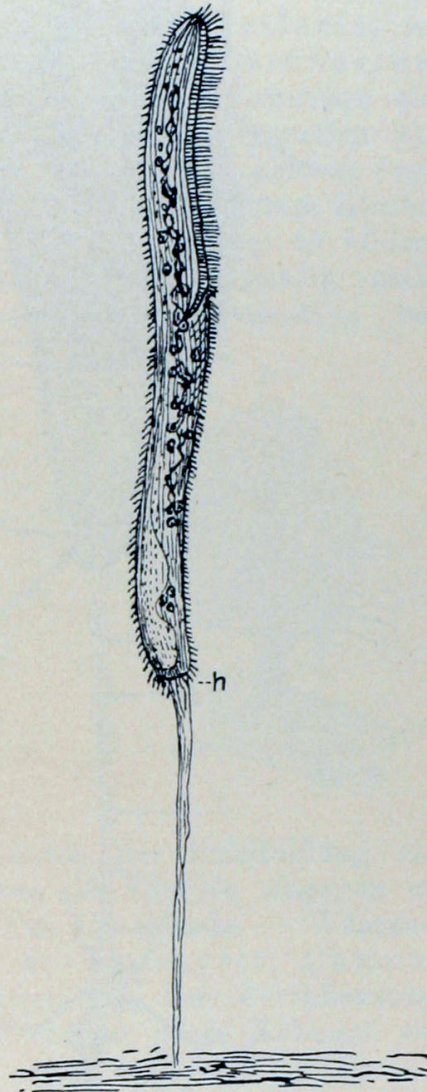


Fig. 269. **Spirostomum**, mit einem Schleimfaden am Boden festhaftend, das Vorderende nach oben gerichtet. *h* Hinterende des Tieres, an dem der Schleimfaden beginnt. Nach JENNINGS 1910.

Ein sehr eigenartiges Haftorganell hat ferner FAURÉ-FREMIET (1909) bei einem Hypotrichen, *Ancistropodium maupasi*, geschildert (Fig. 270). Wenn das Tier schwimmt, bildet der „Fuß“ an dem Hinterende der Bauchfläche eine Art von Längsleiste von ca. 15 μ Länge und 5 μ Breite, die 6 kräftige Schwanzcirren sowie in Verlängerung [der

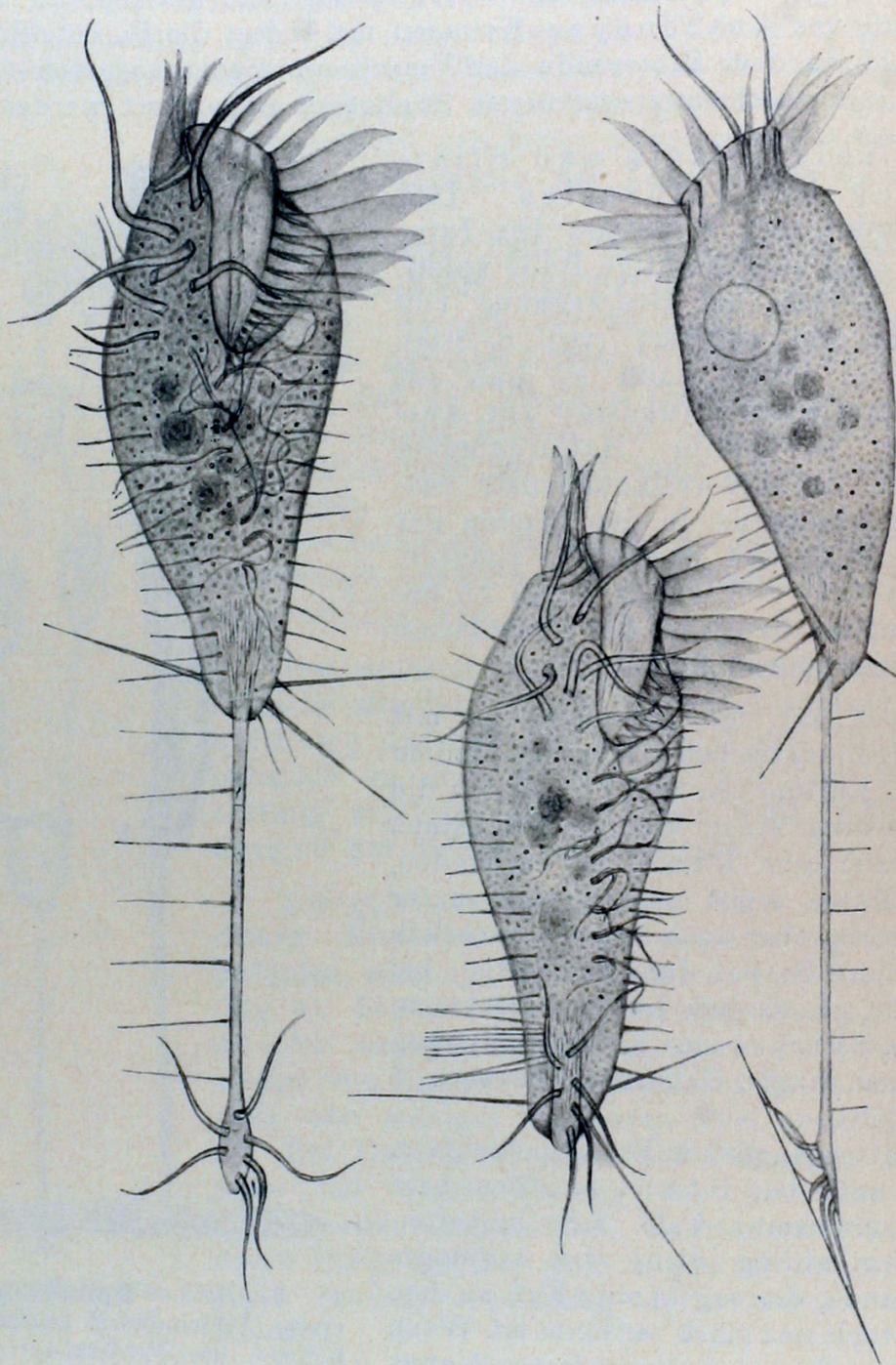


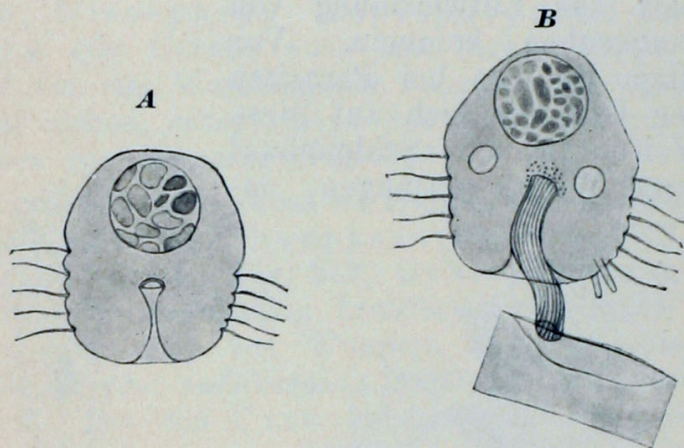
Fig. 270. *Ancistropodium maupasi* FAURÉ-FREM. Links Ventralansicht, rechts Seitenansicht des festgehefteten, in der Mitte Ventralansicht des freischwimmenden Tieres. Aus FAURÉ-FREMIET 1909.

rechtsseitigen Cirrenreihe noch 8 sehr lange feine Randcirren trägt. Setzt sich das Tier fest, so verlängert sich dagegen der Fuß zu einem langen schlanken stielartigen Gebilde, das an seinem Ende zu einer ovalen Platte verbreitert ist. Auf dieser Platte stehen dann die Schwanzcirren, die die thigmotaktische Fixierung des Tieres vermitteln, während

die anscheinend als Tastborsten funktionierenden Randcirren auf dem fadenförmigen Teile des Stieles verteilt sind. Bei Reizung des Tieres kontrahiert sich der einen integrierenden Teil des Protoplasmakörpers darstellende Stiel mit sehr großer Geschwindigkeit.

Ganz anderer Art sind die Stiele der Vorticelliden, die keine unmittelbare Fortsetzung des Körpers, sondern, ähnlich jenem Gallertstiel von *Spirostomum* (Fig. 269), ein Sekretionsprodukt darstellen. Sie sind elastisch, zeigen einen feinwabigen Bau und bestehen, ähnlich den Pseudochitinschalen der Rhizopoden, aus einem schwerlöslichen Albuminoid (SCHRÖDER 1906). Bei *Epistylis plicatilis* ist der Stiel solid (vgl. Fig. 254), bei anderen Arten (z. B. *Campanella umbellaria*) ist er dagegen hohl, röhrenförmig und bei *Vorticella*, *Carchesium* und *Zoothamnium* findet sich im Innern der Pseudochitinnöhre ein kräftiges Myonem (vgl. den Abschnitt über Bewegungsorganellen auf S. 250). Die Vorticelliden können sich von ihren Stielen ablösen (vgl. Fig. 64), frei umherschwimmen und sich dann wieder mit ihrem Hinterende thigmotaktisch festheften, um alsbald einen neuen Stiel zu bilden. Die Abscheidung der Stielsubstanz erfolgt anfangs verhältnismäßig rasch, um später langsam abzunehmen. So beobachtete ENGELMANN bei

Fig. 271. *Tocophrya quadripartita* CL.-L. **A** Junge Larve, im Begriff sich festzusetzen, mit eingestülptem Saugnapf (vgl. die freischwimmende Larve in Fig. 250). **B** Etwas ältere, bereits festsitzende Larve, die einen Stiel abgeschieden hat und die ersten Tentakel zu entwickeln beginnt, während die Wimpern noch erhalten sind; etwas stärker vergrößert. (Noch ältere Larven siehe in Fig. 307). Nach FILIPJEV 1911.



Zoothamnium arbuscula in den ersten Stunden der Stielbildung ein Wachstum von ca. 0,13 mm, in den nächsten 15 Stunden dagegen im Durchschnitt nur noch ein solches von 0,05 mm pro Stunde. — Während *Vorticella* stets einzeln lebt, entstehen bei *Epistylis*, *Campanella*, *Carchesium* und *Zoothamnium* bei der Fortpflanzung durch wiederholte Zweiteilungen mehr oder weniger große Kolonien auf dichotom verästelten Stielen.

Diesen Stielen der Vorticelliden entsprechen auch die bald nur sehr kurzen, bald längeren Stiele der durchweg festsitzenden Suctorien, für die wir *Tocophrya quadripartita* als Beispiel betrachten wollen (nach FILIPJEV 1911). Die Stelle, an der der Stiel abgeschieden wird, ist ein kleiner runder, in der Mitte nach Art einer Sauggrube leicht eingesenkter Bezirk der Oberfläche, dem innen dichteres, schwach radiär gestreiftes Protoplasma anliegt und der beim frei schwimmenden Embryo am Vorderende liegt (Fig. 250). Vor der Festsetzung stülpt sich das ganze Vorderende des Embryos zu einem engen und tiefen Kanal ein, an dessen Grunde dann jene ursprüngliche sauggrubenartige Vertiefung liegt und in dem die Abscheidung des Stieles erfolgt (Fig. 271). Am inneren Ende des Stieles sieht man eine helle Plasmaanhäufung, welche sich in lebhafter Bewegung befindet; von ihr aus heften sich

fortwährend neue Körnchen an das Ende des Stieles an, der auf diese Weise ein Längenwachstum erfährt. Ist dieses abgeschlossen, so erfolgt eine Umstülpung des Körpers des Tieres, durch die sich dieser auf dem Stiele erhebt, während gleichzeitig die Wimpern des Embryos zugrunde gehen; zum Teil sollen sie zerfallen, zum Teil eingezogen werden. Durch diese Umstülpung werden auch die Tentakel des Tieres (vgl. den Abschnitt über Ernährungsorganellen), die anfänglich an den beiden Seiten des Körpers in je einer Gruppe vor und hinter dem Wimpergürtel sich bildeten, nach vorne gebracht, wo sie sich beim erwachsenen Tier auf 4 gleichmäßigen Vorwölbungen des umgekehrt pyramidenförmigen Körpers erheben (Fig. 307 und 67). An seinem unteren Ende läuft der Stiel in eine große Basalplatte aus, die nach einer von COLLIN (1912) bezweiferten Vermutung FILIPJEVS von der ganzen Umgebung der die Stielbildung vermittelnden kanalartigen Vertiefung abgeschieden wird und die der Unterlage (bei unserer Art sind dies die Stiele von *Epistylis plicatilis*) flach aufliegt (Fig. 271, B).

4. Sauggruben und Hafthaken der Infusorien. Anstatt zur Stielbildung kann es aber auf der Grundlage einfacher thigmotaktischer Festheftung auch zur Entwicklung von Sauggruben kommen. Vor allem ist dies bei Parasiten der Fall, die sich auf diese Weise an der Schleimhaut ihres Wirtes ansaugen, in-

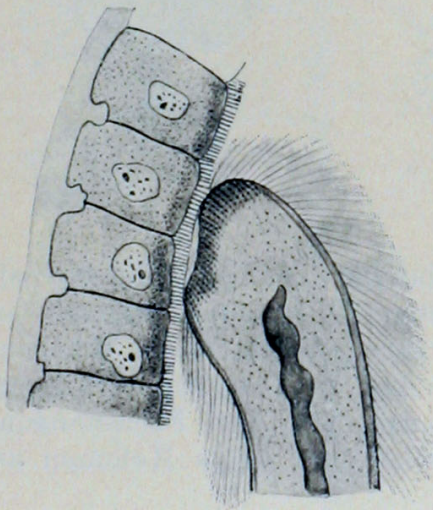


Fig. 272.

Fig. 272. *Anoplophrya paranaidis* PIERANT. Schnitt durch die Darmwandung von *Paranais elongata* mit dem Vorderende des an ihr angehefteten Parasiten. Nach PIERANTONI 1909.

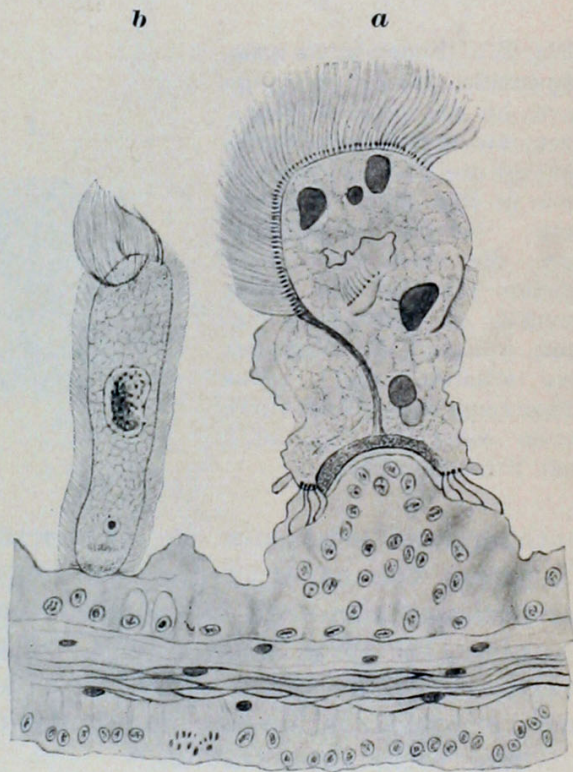


Fig. 273.

Fig. 273. Schnitt durch die Wasserlunge von *Holothuria californica* mit am Epithel festsitzenden Infusorien. *a* *Licnophora macfarlandi* STEVENS. *b* *Boveria subcylindrica* STEVENS. Am Rande der konkaven Haftscheibe der *Licnophora* sieht man jederseits die Schnitte durch die 4 „undulierenden Membranen“ mit ihren Basalkörpern (vgl. das Totalbild in Fig. 216) und nach außen von diesen (namentlich deutlich links) den Schnitt durch die als Velum bezeichnete Falte der Pellicula. Nach STEVENS 1901, etwas verändert.

dessen kommen kleine und trotzdem kräftige Sauggruben auch bei einzelnen räuberischen Infusorien vor, so namentlich bei dem räuberisch auf *Epistylis*-Kolonien hausenden *Trachelius ovum*.

Vereinzelt finden sich Sauggruben auch schon bei Flagellaten: bei *Lamblia* ist die Bauchfläche im Gegensatz zu der gewölbten Rückenfläche nicht nur abgeflacht, sondern in ungefähr der vorderen Hälfte sogar konkav eingesenkt und dient hier zur Anheftung an die Darmschleimhaut des Wirtes. Häufiger ist dagegen eine derartige Sauggrubenbildung bei den Wimperinfusorien, bei denen sie auch eine größere Komplikation erreicht.

Als Anfangsstadium einer Sauggrubenbildung können wir Verhältnisse betrachten, wie sie PIERANTONI (1909) bei *Anoplophrya paranaidis* gefunden hat. Hier tritt an dem isolierten Infusor eine Sauggrube noch nicht hervor. Die mit Abscheidung von etwas Gallertsubstanz verbundene thigmotaktische Anheftung des Infusors an der Darmschleimhaut des Wirtes (eines Oligochäten) wird aber dadurch verstärkt, daß das angeheftete Vorderende etwas konkav eingezogen wird und somit eine Saugwirkung ausübt (Fig. 272). Auch die (etwas an die Verhältnisse bei *Lamblia* erinnernde) grubige Einsenkung im vorderen Teil der Bauchfläche von *Hoplitophrya falcifera* (Fig. 274, s) hat jedenfalls Haftfunktion. Die höchste, an Saugnäpfe erinnernde Differenzierung solcher Haftorganellen findet sich unter den darmbewohnenden astomen Infusorien bei *Steinella*, *Discophrya*, *Haptophrya* und *Lada*. Speziell für *Haptophrya* gibt CÉPÈDE auch das Vorhandensein besonderer Myoneme an, die von der Wandung der Sauggrube zur gegenüberliegenden Rückenfläche ziehen, entsprechend den Radiärmuskeln bei Sauggruben und Saugnäpfen von Metazoen (Fig. 313).

Außer bei Astomen finden sich Sauggruben als Haftorganellen auch bei parasitischen Peritrichen, und zwar bei *Licnophora* (Fig. 216 u. 273) und den Urceolariden (*Trichodina*, Fig. 249, *Cyclochaeta* u. a.). Sie nehmen hier in Form einer regelmäßig kreisförmigen Scheibe das Hinterende der Tiere ein und sind von Wimpern umgürtet, die zu flächenhaften, an Membranellen oder undulierende Membranen erinnernden Gebilden verschmolzen sind. Bei den Urceolariden ist nach WALLENGREN (1897) diese Verschmelzung in annähernd radiärer Richtung erfolgt, so daß ein einfacher Kranz verhältnismäßig schmaler Wimpergebilde entstanden ist, die den Membranulae der Vorticelliden (vgl. S. 241) entsprechen. Bei *Licnophora* dagegen ist nach STEVENS (1901) die Verschmelzung in der dem Umkreis der Saugscheibe entsprechenden Richtung erfolgt, so daß diese von 4 kreisförmig geschlossenen und konzentrischen „undulierenden Membranen“ umgeben ist (vgl. Fig. 216 und 273).

Wie bei parasitischen Plattwürmern, so kann auch bei diesen parasitischen Infusorien die fixierende Wirkung der Sauggruben durch das Hinzutreten von Hafthaken verstärkt werden. Dem Besitz eines Hakens verdankt z. B. die Gattung *Hoplitophrya* (Fig. 274) ihren Namen und bei *Steinella* sind sogar 2 Haken in der Sauggrube vorhanden. Auch ohne daß Sauggruben vorhanden sind, können Haken als alleinige Haftorganellen bei Astomen ausgebildet sein, z. B. bei *Maupasella* (Fig. 276), *Intoshellina* (Fig. 277) und Arten von *Hoplitophrya* (Fig. 275). Bei den Urceolariden findet sich in der Saugscheibe ein sogenannter Haftring, der aus meist 22—24 einzelnen Gliedern besteht. Die einzelnen Glieder sind tütenförmig gestaltet und derart ineinander geschachtelt, daß sie sich zu einem geschlossenen Ringe aneinander fügen. Jede Tüte aber verlängert sich an ihrem Rande in

zwei mehr oder weniger blattförmige Fortsätze, die dem Rande bzw. dem Zentrum der Saugscheibe zugewandt sind und sich als Haken über die Oberfläche der Saugscheibe erheben (Fig. 278).

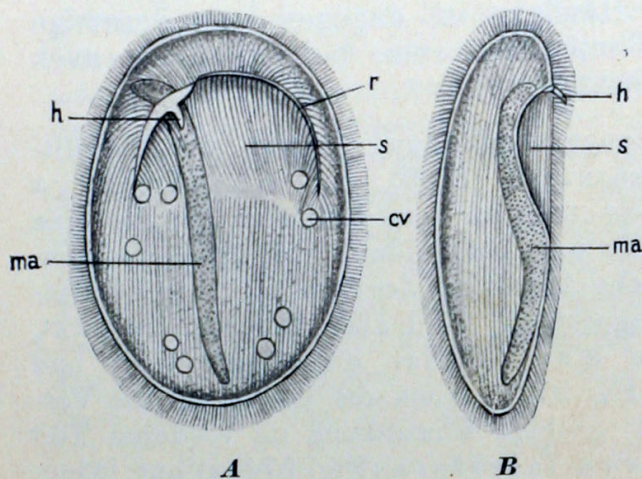


Fig. 274.

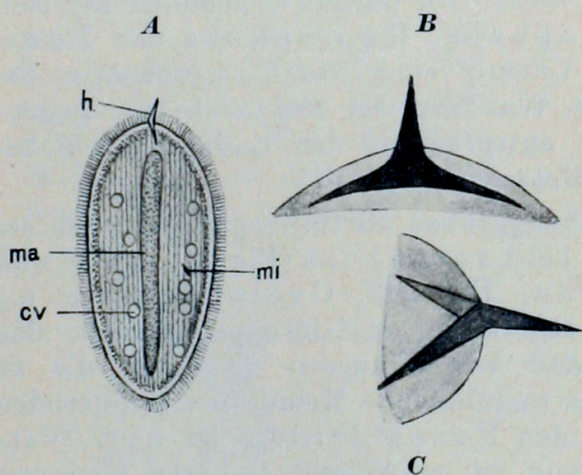


Fig. 276.

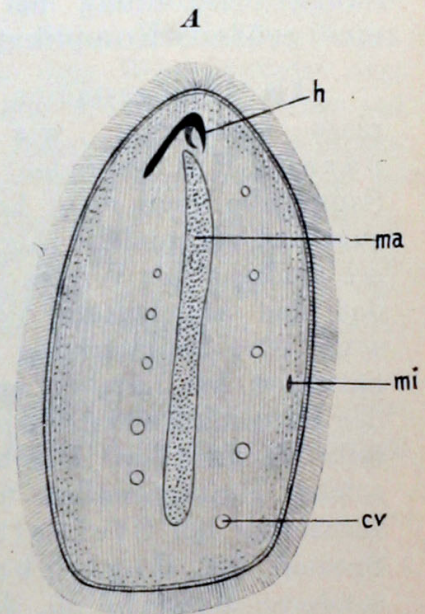


Fig. 275.

Fig. 274. **Hoplitophrya falcifera** STEIN. *A* Ventralansicht, *B* Seitenansicht. *cv* kontraktile Vakuole, *h* Hafthaken (in Fig. *A* beachte den vorderen und hinteren Wurzelfortsatz desselben), *ma* Großkern, *r* von einer Verdickung der Pellicula gebildete Randleiste am Vorderende der Sauggrube, *s* Sauggrube. Vergr. 315:1. Nach CÉPÈDE 1910.

Fig. 275. **Hoplitophrya hamata** CÉP. *A* Gesamtbild. *cv* kontraktile Vakuole, *h* Hafthaken (der größeren Deutlichkeit wegen schwarz gezeichnet), *ma* Großkern, *mi* Kleinkern. Vergr. 390:1. *B* Isolierter Hafthaken. Vergr. 800:1. Nach CÉPÈDE 1910.

Fig. 276. **Maupasella nova** CÉP. *A* Gesamtbild. Buchstaben wie in Fig. 275. Vergr. 350:1. *B* Der Hafthaken am Vorderende des Tieres in Flächenansicht und *C* in Seitenansicht, sehr viel stärker vergrößert. Nach CÉPÈDE 1910.

Allem Anschein nach bestehen diese verschiedenartigen Hafthaken aus einem schwerlöslichen Albuminoid. Meist werden sie als Differenzierungen der Pellicula betrachtet; nur WALLENGREN nimmt an, daß an ihrer Bildung außer der Pellicula auch noch das Corticalplasma beteiligt sei.

5. Haftorganellen der Gregarinen. Während bei den intracellulär schmarotzenden Coccidien Haftorganellen vollständig

fehlen¹⁾, sind solche bei Gregarinen sehr weit verbreitet, und zwar können wir zwei wesentlich verschiedene Arten solcher Organellen unterscheiden, eine euplasmatische und eine alloplasmatische. Einmal nämlich handelt es sich um Fortsätze des Vorderendes des Plasma-



Fig. 277.

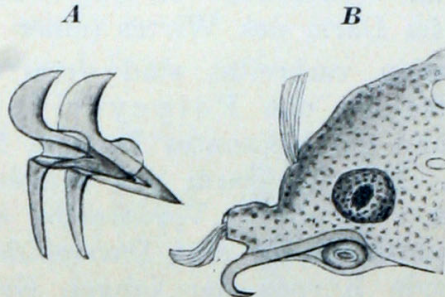


Fig. 278.

Fig. 277. **Intoshellina maupasi** CÉP. Der dreispitzige Haftkaken am Vorderende des Tieres, halbschematisch (vgl. auch das Gesamtbild in Fig. 296). *w* Der den Haken im Plasmakörper fixierende Wurzelfortsatz. Nach CÉPÈDE 1910.

Fig. 278. **Cyclochaeta domerguei** WALLENGR. Nach WALLENGREN 1897. *A* Zwei Glieder des Hafringes in Flächenansicht, *B* Radialschnitt durch den Körperperrand mit quergeschnittenem Hafring. Vgl. hierzu auch Fig. 249.

körpers selbst, die die Gregarine in dem Darmepithel ihres Wirtes verankern (Epimerite und Filamente) oder (sehr viel seltener) oberflächlich an demselben befestigen. Außerdem findet sich bei frei im Darmlumen schmarotzenden Formen Abscheidung einer klebrigen Gallertsubstanz in Stielform, die, ähnlich wie bei dem vorstehend besprochenen Spirostomum, eine thigmotaktische Festheftung des Hinterendes an dem Darmepithel vermittelt.

Ueber diese Gallertabscheidung der Gregarine ist bereits auf S. 161 (Fig. 156) und S. 253 das Nötige gesagt. Hier sind also nur noch die euplasmatischen Haftorganellen der Gregarinen zu besprechen.

Bei *Ophryocystis* besitzt der kegelförmige Körper an der dem Vorderende entsprechenden Basis des Kegels zahlreiche divergierende wurzelähnliche Ausläufer, die früher für Pseudopodien gehalten wurden (daher der alte Ordnungsname Amöbosporidien), aber starr und unbeweglich sind. Sie vermitteln die Fixierung der Parasiten an dem Epithel der von ihnen bewohnten MALPIGHISCHEN Gefäße verschiedener Insekten, ohne hierbei in das Plasma der Drüsenzellen einzudringen (Fig. 279).

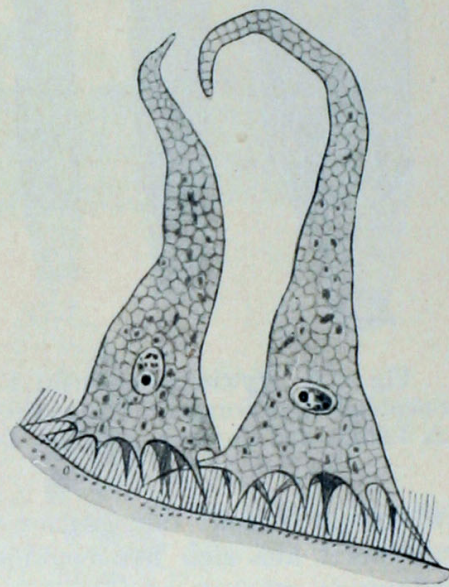


Fig. 279. **Ophryocystis cauleryi** LÉG., am Darmepithel von *Scaurus tristis* (OL.) fixiert. Vergr. 2000 : 1. Nach LÉGER 1907.

1) Neuerdings sind freilich auch einzelne extracellulär auf dem Epithel schmarotzende Coccidien bekannt geworden, und bei einer dieser Arten, dem in den Magendrüsen der Maus lebenden *Cryptosporidium muris*, hat TYZZER (1910) denn auch in einer mir im Original nicht zugängigen Arbeit ein „attachment organ“ beschrieben.

Als Beispiele für Haftorganellen bei Monocystideen sei das Tastpseudopod von *Lankesteria ascidia* genannt, mit Hilfe dessen sich diese oberflächlich an dem Darmepithel ihres Wirtes anheftet (vgl. Fig. 320 im Abschnitt über Sinnesorganellen), sowie der fadenförmige Fortsatz am Vorderende von *Stylocystis*, der zur Verankerung des Parasiten im Darm des Wirtes (einer Dipterenlarve) dient.

Allgemein verbreitet sind derartige, als Epimerit bezeichnete Haftfortsätze bei den Polycystideen, für die als verhältnismäßig einfaches und gut bekanntes Beispiel *Pyxinia möbuszi* dienen kann (Fig. 280). Der im Darm des Wirtes ausgeschlüpfte Sporozoit dringt mit seinem zugespitzten Vorderende, selten mit mehr als einem Viertel seiner Gesamtlänge, in eine Darmepithelzelle ein. Der aus dieser Zelle herausragende Körper der jungen Gregarine wächst rascher wie das intracellulär fixierte Vorderende, bedingt infolgedessen zunächst eine

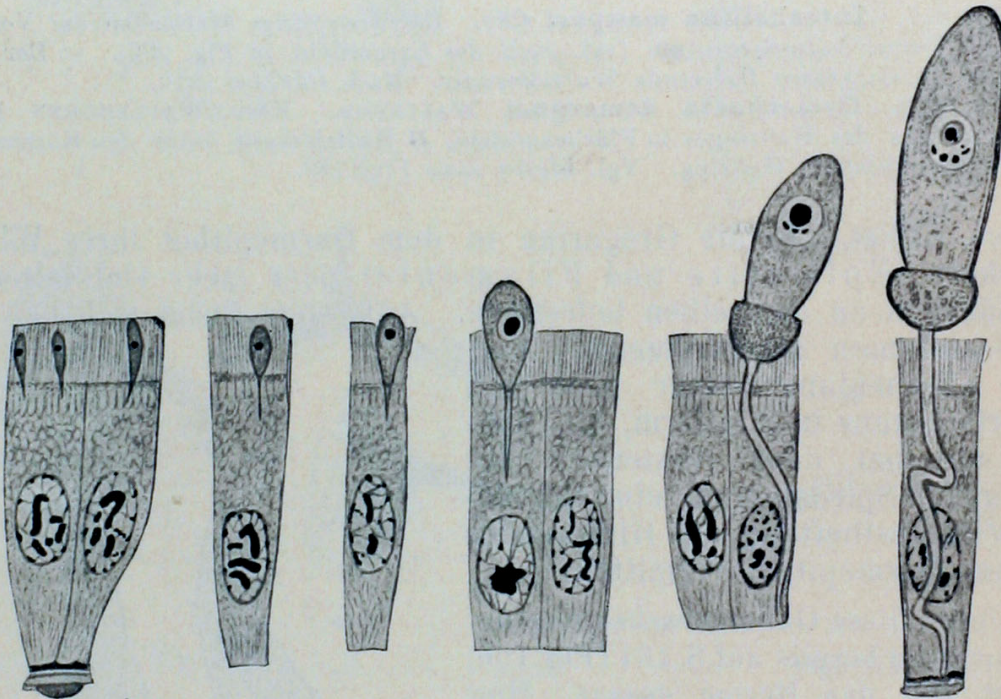


Fig. 280. *Pyxinia möbuszi* LÉG. u. DUB. Entwicklung von dem eben erst ins Darmepithel eingedrungenen Sporozoiten bis zum ausgebildeten Sporonten. Vergr. 1000:1. Nach LÉGER und DUBOSQ 1902 aus LÜHE 1904.

birnförmige Gestalt der ganzen Gregarine und läßt schließlich Proto- und Deutomerit aus sich hervorgehen. Das in die Epithelzelle eingedrungene Vorderende wächst bei *Pyxinia* vor allem in die Länge und entwickelt sich zu einem langen, nach seinem der Basalfäche des Epithels zugewandten Ende sich allmählich etwas verjüngenden rüsselartigen Fortsatz, dem Epimerit, dessen Länge schließlich größer wird wie die Höhe des Epithels. Es muß sich daher entweder im Innern der Epithelzelle mehr oder weniger stark schlängeln (Fig. 280, rechts) oder bei gestrecktem Verlauf dicht oberhalb der Basalfäche des Epithels umbiegen, um dann parallel derselben weiter zu laufen und hierbei auch noch in benachbarte Zellen einzudringen. Dieses Entwicklungsstadium der Gregarine wird als Cephalont bezeichnet; unter Verlust des Epimerits wandelt es sich später zum frei im Darmlumen lebenden und sich dort nur durch die bereits besprochene Gallertabscheidung fixierenden Sporonten um.

Das Epimerit, das bei typischer Ausbildung stets aus dem in eine Darmepithelzelle eingedrungenen Vorderende des Sporozoiten hervorgeht, weist in seiner Ausgestaltung bei verschiedenen Gregarinen eine sehr große Mannigfaltigkeit auf (Fig. 281). Jedenfalls aber ist es, vorwiegend vom Epicyt gebildet, stets verhältnismäßig derb; Endoplasma beteiligt

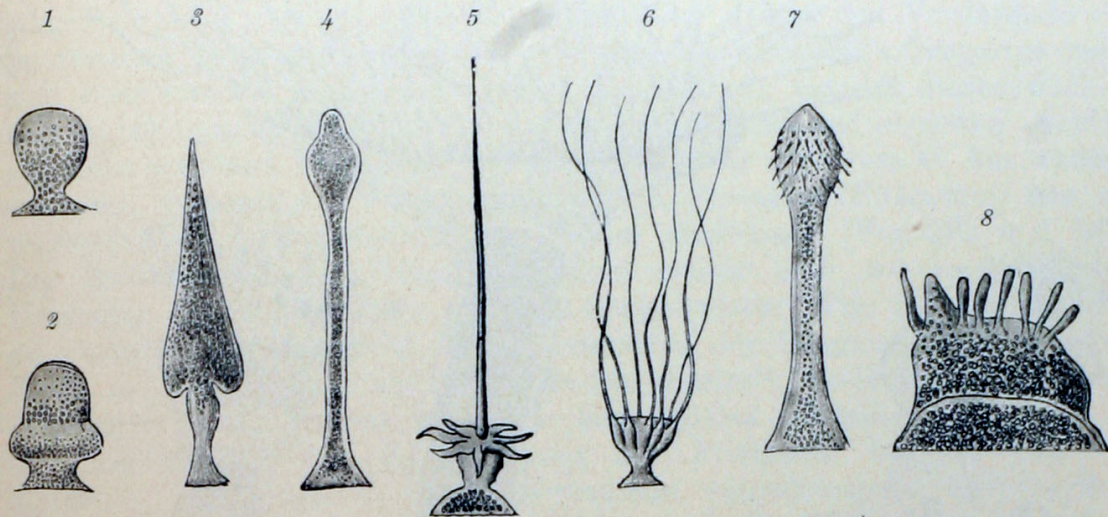


Fig. 281. **Epimeritformen** verschiedener polycystider Gregarinen. 1 *Gregarina longa*, 2 *Sycia inopinata*, 3 *Pileocephalus heeri*, 4 *Stylorhynchus longicollis*, 5 *Beloides firmus*, 6 *Cometoides crinitus*, 7 *Geniorhynchus monnieri*, 8 *Echinomera hispida*. Nach LÉGER 1892 aus DOFLEIN.

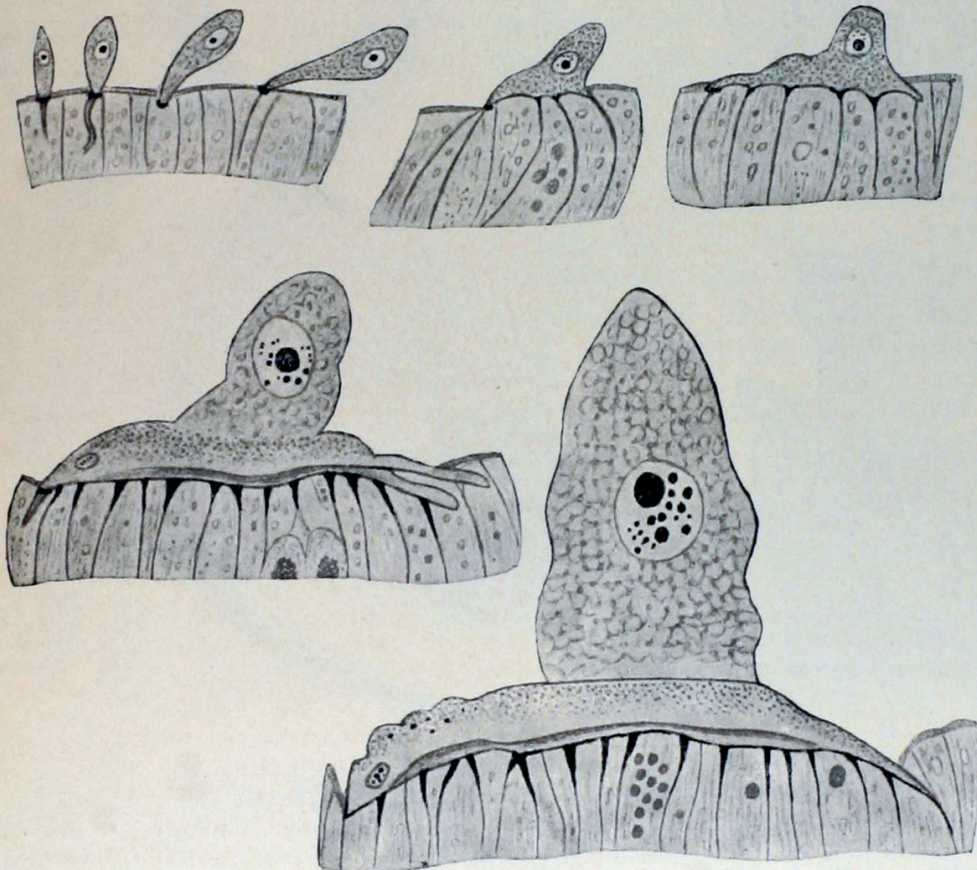


Fig. 282. **Pterocephalus nobilis**. Entwicklung von dem eben erst ins Darmepithel eingedrungenen Sporozoiten bis zum jungen Sporonten mit Sonderung von Proto- und Deutomerit und ins Epithel eingesenkten Filamenten. Vergr. 1400:1. Nach LÉGER und DUBOSQ 1902 aus LÜHE 1904.

sich an seinem Aufbau entweder überhaupt nicht oder doch nur in sehr geringem Grade. Verhältnismäßig häufig ist es knopf- oder keulenförmig; häufig ist es andererseits mit die Fixierung des Parasiten sichernden Widerhaken versehen, meist in Form eines einfachen Kranzes von Haken

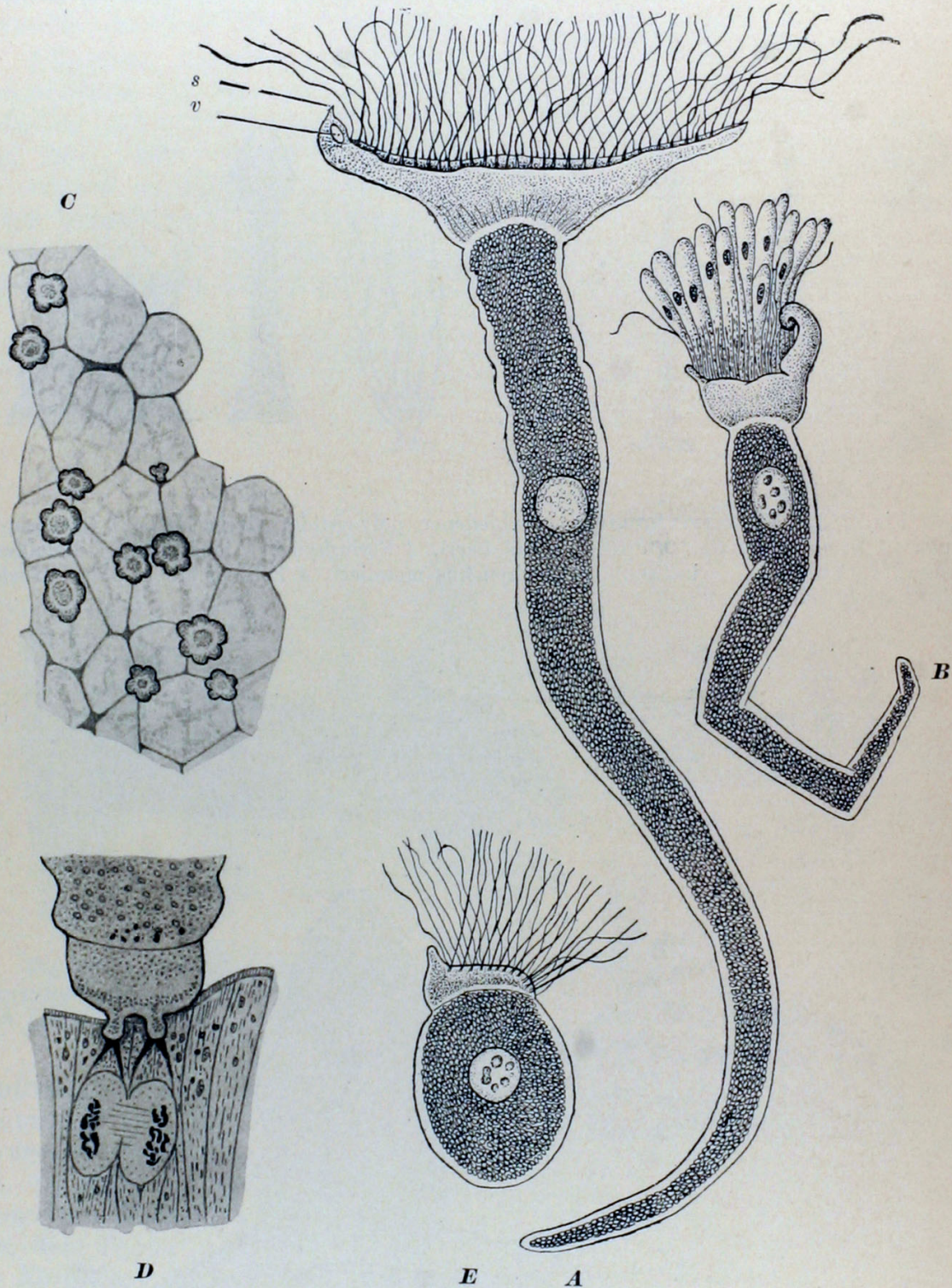


Fig. 283. **Dactylophoriden.** **A** *Pterocepalus giardi* LÉG. *s* dem Epimerit anderer Gregarinen entsprechendes Rostrum, *v* chromatinhaltige Vakuole. **B** Ein anderes Exemplar desselben, zwischen dessen Filamenten noch die Epithelzellen des Scolopenderdarms haften. **C** Flächenschnitt durch das Darmepithel eines Scolopenders mit den Querschnitten durch die nahe ihrer Basis getroffenen Filamente des *Pterocepalus*. **D** Sagittalschnitt durch einen am Scolopenderdarm fixierten *Pterocepalus nobilis*. Man sieht die beiden quergetroffenen Längswülste der Sohle des Parasiten, von denen die Filamente ausgehen. **E** *Echinomera horrida* LÉG. Nach verschiedenen Autoren aus LÜHE 1904.

(z. B. bei *Corycella*, Fig. 52), seltener in Form zahlreicher, rückwärts gerichteter Stacheln (Fig. 281, 7). Es kann aber auch (bei den Dactylophoriden) rückgebildet und durch sekundäre Haftorganellen in Form von zahlreichen finger- bis fadenförmigen, aus dem Protomerit hervorstwachsenden Fortsätzen funktionell ersetzt werden.

Als Beispiel für diese sekundären Haftorganellen der Dactylophoriden mag *Pterocephalus* dienen. Auch hier dringt das Vorderende des Sporozoiten in eine Darmepithelzelle ein, die wachsende Gregarine neigt sich aber alsbald gegen das Epithel (Fig. 282, *a*), um sich diesem flächenhaft aufzulegen (Fig. 282, *b*). Von der dem Epithel aufliegenden „Sohle“, die beim weiteren Wachstum der Gregarine sehr erheblich an Ausdehnung zunimmt, sprossen zahlreiche fadenförmige Fortsätze (Filamente) aus, die wurzelähnlich in das Epithel des Wirtes eindringen (Fig. 282 und 283). Die Sohlenfläche der Gregarine selbst erhebt sich entsprechend dem Ursprung dieser Filamente zu zwei Längswülsten (Fig. 283, *d*), die sich an ihrem, dem ursprünglichen Vorderende der Gregarine abgewandten Ende in je einen stumpf auslaufenden Fortsatz verlängern, der auch seinerseits noch wieder etwas in das Epithel eindringt (Fig. 282, *d*). Gleichzeitig mit der Entwicklung der Filamente beginnt sich das Epimerit, d. h. das in eine Epithelzelle eingedrungene ursprüngliche Vorderende der Gregarine, rückzubilden (vgl. Fig. 282, *d* und *e*) und zu einem kurzen Kegel umzugestalten, der nur sehr wenig in das Epithel eingedrungen erscheint.

6. Bei den Cnidosporidien finden sich Haftorganellen in allgemeiner Verbreitung bei den die Infektion vermittelnden Fortpflanzungskörpern (Cnidosporen) in Form der sogenannten Polkapseln, die bereits auf S. 218 erwähnt wurden und auf die in dem Kapitel über die Fortpflanzung noch zurückzukommen ist. Auch die eigenartigen Fortsätze an den Cnidosporen mancher Actinomyxidien (vgl. Fig. 57) haben jedenfalls die Funktion, das Haften der Cnidosporen im Wirtsdarm und damit die Infektion zu erleichtern.

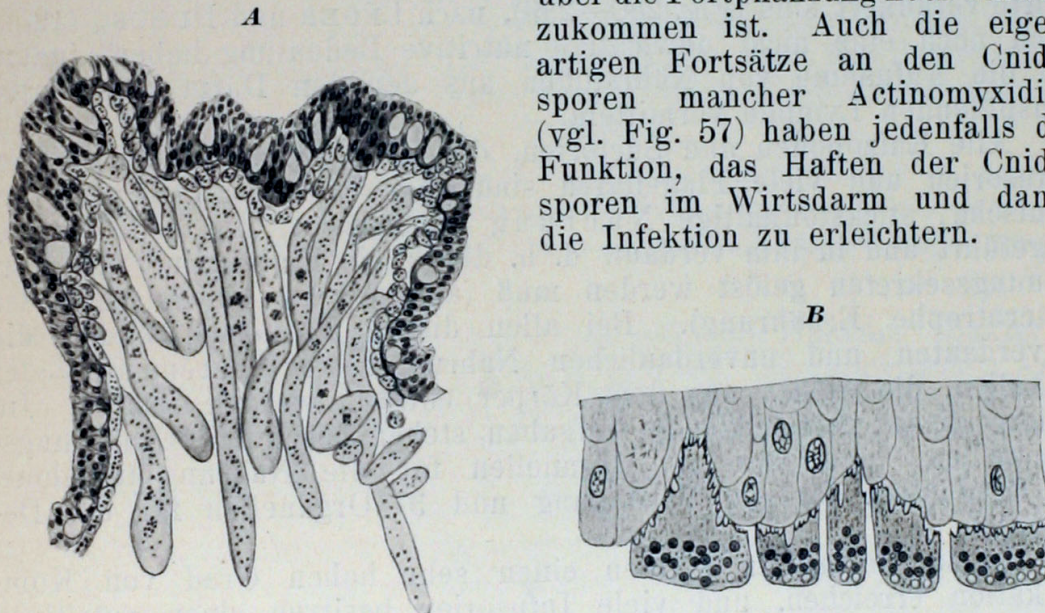


Fig. 284. **Myxidium lieberkühni**. *A* Schnitt durch die Harnblase des Hechtes mit zahlreichen anhaftenden Exemplaren. Vergr. 120:1. Original. *B* Schnitt durch die Vorderenden von 5 am Harnblasenepithel des Hechtes haftenden Exemplaren bei stärkerer Vergrößerung. Nach SCHRÖDER 1912.

Die vegetativen Stadien besitzen nur bei einem Teil der Körperhöhlräume bewohnenden Myxosporidien Haftorganellen, und zwar dienen hier Pseudopodien als solche. Als Beispiel kann *Myxidium*

lieberkühni dienen, das an seinem Vorderende einen dichten Besatz sehr feiner kurzer, nahezu haarförmiger Pseudopodien trägt und sich mit diesen am Epithel anheftet (Fig. 284).

IV. Ernährungsorganellen.

Wenn wir von denjenigen Flagellaten, die sich in pflanzlicher Weise ernähren, absehen, können wir innerhalb der Protozoen nach der Art der Ernährung zwei Hauptgruppen unterscheiden. Auf der einen Seite stehen fast alle Sporozoen und Cnidosporidien, viele Flagellaten (außer den parasitischen auch manche saprophytische), sowie von den Infusorien die Opalinen und Astomata; auf der anderen alle Rhizopoden, die weitaus überwiegende Mehrzahl der Infusorien, zahlreiche Flagellaten und eine einzige Sporozoenart (*Stomatophora coronata*).

Die erste dieser beiden Gruppen, die vorwiegend von endoparasitischen Protozoen gebildet wird (aber durchaus nicht alle endoparasitischen Protozoen enthält), umfaßt Formen, die, in einem nährstoffreichen Medium lebend, sich ausschließlich durch Osmose ernähren. Die flüssigen organischen Nährstoffe diffundieren an der ganzen Oberfläche dieser Protozoen, zum Teil vielleicht auch vorzugsweise an einzelnen Stellen derselben, in das Innere des Körpers hinein und infolgedessen fehlen besondere Organellen zur Aufnahme und Verdauung der Nahrung fast vollständig; nur die Pseudopodienbildung bei einzelnen Arten (*Plasmodium*, *Myxidium*) scheint noch eine nutritive Bedeutung zu haben (Vergrößerung und Veränderung der resorbierenden Oberfläche), ebenso wie die mehr oder weniger langen Fortsätze, mit denen viele Gregarinen in dem Darmepithel ihrer Wirte verankert sind (Fig. 280—283), nach LÉGER und DUBOSQ (1902) auch noch eine nicht unwichtige nutritive Bedeutung haben, indem sie die Aufnahme von Nährstoffen aus der den Darm des Wirtes umspülenden Lymphe vermitteln.

Alle Rhizopoden und Suctorien, die große Mehrzahl der ciliaten Infusorien und viele Flagellaten sind dagegen auf geformte organische, stickstoffhaltige Nahrung angewiesen, die dem Körper zugeführt und in ihm verdaut, d. h. durch die Einwirkung von Verdauungssekreten gelöst werden muß (animalische, holozoische oder heterotrophe Ernährung). Bei allen diesen Protozoen bilden die unverdauten und unverdaulichen Nahrungsreste Exkremente oder Fäkalien, die wieder aus dem Körper entfernt werden müssen. Im Dienst dieser verschiedenen Aufgaben stehen besondere Ernährungsorganellen, und zwar 1) Organellen für die Nahrungsaufnahme, 2) Organellen für die Verdauung und 3) Organellen für die Defäkation.

Diese Organellen können einen sehr hohen Grad von Komplikation erreichen, und viele Infusorien besitzen einen nutritiven Organellenapparat, der im Kleinen und Einzelligen an den Organapparat im Großen erinnert, der bei den Vielzelligen das Ernährungssystem zusammensetzt. Besondere Organellen strudeln die Nahrung herbei, besondere Organellen leiten sie zu einem Zellenmund, durch welchen sie in einen Zellenschlund eintritt. Von da in das Plasma eintretend, wird die Nahrung in bestimmten Richtungen im Endoplasma fortgeleitet (Cyclose), und auf jeder Wegstrecke verhält

sich das umgebende Protoplasma zu der sich fortbewegenden Nahrung physiologisch in ähnlicher Weise verschieden, wie die Wandung des Metazoendarmes in seinen verschiedenen Abschnitten, so daß man von einer verdauenden, einer resorbierenden und einer ausleitenden Wegstrecke sprechen kann. Letztere führt zum lokalisierten Zellafter.

A. Organellen für die Nahrungsaufnahme.

In den Dienst der Nahrungszufuhr werden vor allem die frei nach außen vorragenden beweglichen Fortsätze des Körpers gestellt, also die Pseudopodien und Undulipodien. Sie können daneben noch sämtlich oder wenigstens zum Teil ihre bereits früher besprochene lokomotorische Funktion beibehalten, oder es kann auch bei gewissen höher organisierten Formen zwischen den zahlreichen beweglichen Fortsätzen des Körpers zu einer Arbeitsteilung in dem Sinne kommen, daß ein Teil derselben vorwiegend oder ausschließlich als motorische Organellen der Lokomotion, ein anderer Teil ebenso vorwiegend oder ausschließlich als nutritive Organellen der Nahrungszufuhr dient. Diese Beschränkung auf nutritive Funktion finden wir auch bei den Tentakeln der Suctorien.

Zwischen den mit Pseudopodien und den mit Undulipodien versehenen Protozoen besteht aber hinsichtlich der Ernährung ein Unterschied nicht nur in Bezug auf den Bau der in den Dienst der Nahrungszufuhr gestellten Fortsätze des Körpers. Bei den durch Pseudopodien gekennzeichneten Rhizopoden, denen sich auch in dieser Beziehung ebenso wie in ihrer Bewegungsart die Flagellatenordnung der Rhizomastiginen anschließt, kann die Nahrung an ganz beliebigen Stellen der Körperoberfläche aufgenommen werden; bei den mit Undulipodien versehenen Flagellaten und Ciliaten, denen sich in dieser Beziehung in gewissem Sinne auch die Suctorien anschließen lassen, erfolgt dagegen die Nahrungsaufnahme nur an ganz bestimmten Körperstellen.

Bei der Verschiedenartigkeit der Ernährungsorganellen in den verschiedenen Klassen und Ordnungen der Protozoen erscheint es zweckmäßig, der näheren Besprechung eine systematische Anordnung zugrunde zu legen.

1. Sarcodina. Bei den Amöben wird die Nahrung (Bakterien, Diatomeen, kleine Algen, Detrituspartikelchen, bei parasitischen Arten oft Blutkörperchen des Wirtes, bei *Pelomyxa palustris* auch größere Organismen, wie z. B. Copepoden usw.), die auf dem Wege angetroffen wird, mit Hilfe amöboider Bewegungen auf die eine oder andere Weise (Näheres siehe S. 53—57) in das Endoplasma hineinbefördert. In ganz entsprechender Weise wird auch bei den beschalteten Amöbinen die Nahrung von den vorgestreckten Pseudopodien umflossen, um dann unter Kontraktion dieser Pseudopodien in das von der Schale umschlossene Plasma geschafft zu werden.

Bei den Foraminiferen, Radiolarien und Heliozoen dienen die nach allen Seiten ausstrahlenden zahlreichen Pseudopodien (vgl. hierzu auch deren Besprechung auf S. 219—221) vermöge ihrer Klebrigkeit (vgl. S. 254) als Fangapparate, an denen jedes mit ihnen in Berührung kommende Nahrungspartikelchen kleben bleibt. Zur Nahrung scheinen vielfach nur lebende bewegliche Organismen zu

dienen. Kleine Beutetiere, die an die Pseudopodien etwa einer *Polystomella* stoßen, bleiben sofort bewegungslos, wie gelähmt, an diesen haften; bei größeren führt der Reiz der Fluchtversuche zu einer Verstärkung der klebenden und lähmenden Wirksamkeit der Pseudopodien. Durch lebhaftere Körnchenströmung bildet sich an der Berührungsstelle eine stärkere Ansammlung von Plasma, die den Nahrungskörper einschließt. Benachbarte Pseudopodien senden Anastomosen zu der Stelle, mit lebhafter zu ihr hinziehender Körnchenströmung, so daß die Plasmaansammlung sich noch weiter vergrößert. Diese kann dann samt dem umschlossenen Nahrungskörper durch Verkürzung der Pseudopodien an oder gar in den Plasmaleib zurückgezogen werden (Fig. 26), oft genug aber unterbleibt dies auch, und die ganze Verdauung findet außerhalb des eigentlichen Plasmakörpers nur durch Vermittelung der Körnchenströmung in den Pseudopodien statt.

Eine sehr anschauliche Schilderung der Nahrungsaufnahme einer Foraminifere hat WINTER (1907) für *Peneroplis pertusus* gegeben, der „alles mit den Pseudopodien umspannt, zum Teil auch aufnimmt, was ihm an kleinen Algen, Diatomeen, Sporen, den verschiedensten Fremdkörpern, auch kleinen Krustern begegnet. Sind die Gegenstände sehr klein, so werden sie halb oder kaum verdaut in die Mündungsporen aufgenommen. Sind die Fremdkörper größer, so werden sie eine Zeitlang vor der Mündung hergeschleift, wo sie sich allmählich verlieren. *Peneroplis* nimmt im Vergleich zu *Vertebralina* niemals größere Gegenstände in die Schale auf, woran er schon durch die Mündungsporen behindert ist. Sehr oft verharret *Peneroplis* bei der Nahrungsaufnahme in Ruhe und entsendet fächerartig nach verschiedenen Richtungen seine Pseudopodienbüschel. Mit Vorliebe verzehrt er kleine Kruster. Ein Nauplius kommt des Weges und berührt ungeschickterweise oft ganz entfernt von der Mündung des *Peneroplis* einige Pseudopodienfäden, sofort zuckt er heftig zusammen, bleibt aber an der berührten Stelle kleben. Je mehr er arbeitet, um sich loszureißen, wobei die Pseudopodien sehr gedehnt werden, sich aber immer wieder zusammenziehen, desto mehr verwickeln sich seine Extremitäten mit den Nachbarpseudopodien, und er ist immer mehr gefesselt. Nur noch Zuckungen verraten seine Anstrengungen; indes nach einigen Momenten erlahmen auch diese, die Beinchen werden einwärts gekrümmt, und er ist tot. Der ganze Prozeß dauert $\frac{4}{5}$ — $1\frac{1}{2}$ Minuten für das Krebschen, das sich nicht losreißen kann, aber oft größer ist als die Foraminifere selbst. Größere Kruster reißen sich nach der Berührung mit einem Sprunge wieder los. Wir konstatieren daraus eine gewisse Klebrigkeit, sowie eine starke Zähigkeit und Elastizität, außerdem eine bedeutende Giftigkeit für kleine Crustaceen; alles kommt der Nahrungsaufnahme entschieden zugute. Ist ein kleiner Kruster zur Beute geworden, so nähert sich diese und die Schale durch Kontraktion der sie verbindenden Plasmamasse, und in wenigen Minuten liegt die Beute der Mundporenplatte vorgelagert. Eine heftige Körnchenströmung ist im Gange. Das Innere des Beutetieres wird vollständig mit Pseudopodiensträngen durchzogen, die sich plattenartig an die nahrungspendenden Teile anheften. Die Nahrungsaufnahme ist also eine extrathalame. In noch nicht 2 Stunden ist nur noch der glashelle Chitinkörper übrig, bis in die äußersten Spitzen der Antennen, Borsten und Extremitäten ist der ganze Weichkörper der Beute aufgelöst und fortgeführt. — Infusorien und Flagellaten schadet die Klebrig-

keit und Giftigkeit der Pseudopodien weniger; sie nähern sich bis beinahe zur Berührung, hasten zurück und ziehen weiter. Wahrscheinlich sind sie für die chemische Influenz sehr empfindlich. Berühren sie die Pseudopodien, so bleiben sie haften und werden aufgenommen.“

Wertvolle Beobachtungen über die Nahrungsaufnahme der Foraminiferen (vor allem Orbitolites) hat auch JENSEN (1901) gemacht. Es zeigte sich hierbei einmal die Abhängigkeit der Nahrungsaufnahme vom Kern, indem kernlose Bruchstücke, die die Fähigkeit zur Pseudopodienbildung noch längere Zeit behalten, gleichwohl schon wenige Minuten nach ihrer Abtrennung von dem kernhaltigen Plasmakörper die Fähigkeit zum Festhalten von Nahrungskörpern verlieren. Bei Darbietung lebloser Stoffe zeigte sich ferner, daß deren Aufnahme oder Nichtaufnahme abhängt von ihrer chemischen Wirksamkeit. Feiner Quarzsand, Glasplitter u. dgl. werden nie aufgenommen; Weizenstärke wurde dagegen von einigen Foraminiferenarten (unter anderem von Orbitolites) aufgenommen, während sie die Pseudopodien anderer (vor allem *Amphistegina lessoni*) gänzlich unbeeinflusst ließ. Kernlose Plasmamassen wurden von Orbitolites nur dann als Nahrung aufgenommen, wenn sie bereits körnig zerfallen waren (24—48 Stunden nach ihrer Abtrennung). Vor dieser Degeneration verschmelzen sie mit dem sie berührenden Plasmakörper des Orbitolites, wenn sie von demselben Individuum abgetrennt waren; andernfalls aber führte ihre Berührung zu einer heftigen, jede Aufnahme unmöglich machenden Kontraktion der Pseudopodien. (Vgl. über Nahrungsauswahl bei Protozoen auch unten den Abschnitt über Verdauungsorganellen.)

Bei Heliozoen ist mehrfach die Vereinigung mehrerer Individuen zu einer Freßgesellschaft beobachtet worden, um mit vereinten Kräften eine Beute zu bewältigen, die für ein einzelnes Individuum zu groß wäre. Zwei, drei, vier oder mehr Individuen verschmelzen mit den sich begegnenden Pseudopodien und umschließen zusammen einen größeren Nahrungsbissen. In den verschmolzenen Pseudopodien werden die Achsenfäden resorbiert, und durch Verkürzung dieser Pseudopodien werden die einzelnen Individuen einander näher gerückt, bis sie zunächst mit ihrem Rindenplasma, dann auch mit ihrem Markplasma verschmelzen. Die Kerne bleiben von diesem Vorgang unberührt, und nach vollendeter Mahlzeit löst sich die Gesellschaft wieder auf. JOHNSON (1895) beobachtete in einem Falle, daß Actinosphärien, die durch mehrfach wiederholte Teilungen so klein geworden waren, daß sie einzeln nicht imstande waren, die allein als Nahrung zur Verfügung stehenden Wasserflöhe (Cladoceren) der Gattung *Bosmina* zu bewältigen, sich nur dadurch vor dem Hungertode bewahrten, daß sie sich zu solchen Freßgesellschaften vereinigten, um gemeinsam eine *Bosmina* einzukreisen. Häufiger sind solche Vergesellschaftungen bei Actinophrys sol beobachtet; bei größerer Zahl der Einzeltiere kann die Gesellschaft einem Haufen zusammengeballter Kletten gleichen, innerhalb dessen große Nahrungskörper bemerkbar sind, die anscheinend von den vereinigten Tieren aufgenommen werden.

Eine Sonderstellung unter den Sarcodinen scheint die von LAUTERBORN (1895) entdeckte und auch von PENARD (1905) wiedergefundene interessante *Paulinella chromatophora* einzunehmen, die ihrer ganzen Organisation nach mit Euglypha und Trinema nahe verwandt erscheint, sich aber ihrer Pseudopodien anscheinend nicht zur Nahrungsaufnahme bedient. Jedenfalls wurde die Aufnahme fester Nahrungskörper bisher nicht beobachtet, während 2 große wurstförmige blaugrüne

Chromatophoren darauf hinweisen, daß die Ernährung vermutlich in holophytischer Weise erfolgt.

2. Ueber die Ernährung der von Sarcodinen abzuleitenden **Cnidosporidien** ist wenig bekannt. In der Regel erfolgt sie durch Osmose an der ganzen Körperoberfläche. In einzelnen Fällen dienen aber wahrscheinlich einzelne Stellen der Oberfläche der Nahrungsaufnahme in erhöhtem Maße. Speziell darf dies für *Myxidium lieberkühni* vermutet werden, das in der Harnblase des Hechtes lebt. In seinem Plasma enthaltene Hämatoidin-Kristalle beweisen, daß seine Nahrung mindestens zum Teil dem Blute des Wirtes entstammt, und bei diesem Nahrungserwerb spielt jedenfalls das am Epithel fixierte Vorderende des meist recht langgestreckten Parasiten (vgl. S. 273) eine nicht unwichtige, wenn auch im einzelnen noch nicht aufgeklärte Rolle, da nur durch dessen Angriffe auf das Epithel das Blut dem Parasiten zugänglich gemacht werden kann.

3. Bei den **Mastigophoren** erfolgt die Nahrungsaufnahme in der verschiedenartigsten Weise. Zahlreiche Arten ernähren sich wie die Pflanzen auf holophytem Wege; diese besitzen dann in der Regel von Ernährungsorganellen nur die die Assimilation vermittelnden Chromatophoren, mit deren Hilfe sie die im umgebenden Medium enthaltene Kohlensäure zersetzen, um den so gewonnenen Kohlenstoff zum Aufbau organischer Stoffe zu verwenden. Zahlreiche andere Arten ernähren sich als Parasiten oder Saprophyten durch osmotische Aufnahme gelöster organischer Substanzen; diesen fehlen Ernährungsorganellen durchaus, wenn wir von der nur durch Vergrößerung der resorbierenden Oberfläche wirksamen Pseudopodien- und Vakuolenbildung bei *Plasmodium* absehen (vgl. S. 129f., 225 und 303). Aber auch bei den sich animalisch (holozoisch) durch Aufnahme fester geformter (organischer) Nahrung ernährenden Formen sind die Ernährungsorganellen außerordentlich verschieden gestaltet.

Die Trennung zwischen saprophytischen, holophytischen und holozoischen Flagellaten läßt sich nicht scharf ziehen, da manche niedere Formen (z. B. *Chrysomonadinen*) sich gleichzeitig oder abwechselnd saprophytisch, holophytisch oder animalisch ernähren können. Hier versagt also das letzte Kriterium zur Unterscheidung pflanzlicher und tierischer Organismen. Die Aufnahme körperlicher Nahrung erfolgt bei diesen Arten durch Pseudopodien oder durch die gleich zu besprechende Empfangsvakuole. Auch Euglenoideen verhalten sich in ihrer Ernährung äußerst verschieden. *Euglena gracilis* z. B. gedeiht zwar nach ZUMSTEIN (1900) bei mixotropher (halbsaprophytischer) Lebensweise am besten, vermag sich aber auch rein autotroph (holophytisch) oder rein heterotroph (animalisch) zu ernähren.

Die Rhizomastiginen nehmen die Nahrung ganz wie die Amöben durch Umfließen oder Ueberkriechen in sich auf, und zwar an jeder beliebigen Stelle ihrer Oberfläche (über Pseudopodien als Nahrungsorganellen bei *Chrysomonadinen* vgl. S. 223f.).

Von speziellem Interesse ist die Nahrungsaufnahme bei der sehr gefräßigen *Mastigella vitrea*, die sich hauptsächlich von Algenfäden nährt und diese häufig in einer ganz dünnen Schicht umfließt. Hierbei spielen die Klebkörner (vgl. S. 258) eine wichtige Rolle, indem sie sich um den Algenfaden anordnen und ihn förmlich einhüllen oder bei be-

sonderer Länge des aufgenommenen Fadens dabei mitwirken, ihn zu zerbrechen. Das Ektoplasma bildet in diesem Falle auf einer Seite kleine höckerartige Vorsprünge mit je einem Klebkorn auf der Spitze. „Indem das Plasma, sichtlich mit Hilfe der Klebkörner sich anheftend, auf dieser Seite vorwärts wandert, während die Körner der Gegenseite wohl das Punctum fixum herstellen, wird der Faden allmählich geknickt“ und bildet schließlich „ein winkeliges Gerüst, zwischen dem der Körper jetzt membranartig ausgespannt ist“.

Bei den anderen, sich holozoisch ernährenden Flagellaten erfolgt dagegen die Nahrungsaufnahme nur an einer bestimmten Stelle, die nur bei den Distomatina eine Verdoppelung erfährt. Sie liegt meist am Vorderende neben dem Geißelursprung, bei den Distomatina symmetrisch an den Seiten des Körpers oder auch am Hinterende (Fig. 8).

Bei zahlreichen Protomonadinen (Monadinen, Oicomonadinen, Amphimonadinen) und einigen Chrysomonadinen ist die Stelle der Nahrungsaufnahme noch sehr wenig differenziert: Ein Cytostom ist noch kaum ausgebildet, die Nahrungsaufnahme erfolgt durch eine sogenannte Empfangsvakuole. „An der Geißelbasis ist statt des mehr oder weniger festen Periplasten eine meist ovale Stelle zu erkennen, an der das Plasma sozusagen frei zutage tritt. Wenn nun infolge der Geißelbewegung ein Nahrungskörper auf diese Stelle geschleudert wird, stülpt sich augenblicklich eine Vakuole aus, in welche derselbe einsinkt. Sie rückt jedoch nicht direkt ins Innere, sondern wandert seitlich wie ein Bruchsack dem Hinterende zu und verschwindet erst dort im Inneren des Plasmas“ (SENN 1900).

Sogar Nahrungskörper, die größer sind als der verschluckende Flagellat, können auf entsprechende Weise aufgenommen und von einer feinen Plasmaschicht umhüllt werden.

Bei Monadinen und Oicomonadinen erhebt sich oft neben der Geißelbasis ein lippen- oder rüsselförmiger Fortsatz, der sich bei der Nahrungsaufnahme über die Mundstelle beugt und beim Aufnehmen des Nahrungskörpers nachhilft. Bei *Bicosoeca* und *Poteriodendron* ist diese Lippenbildung weiter differenziert zu einem schwach amöboid beweglichen Wulst, welcher die Geißelbasis halbkreisförmig oder in etwas schiefer Richtung völlig kreisförmig umgibt.

Der Kragen der *Craspedomonaden*, der als kontraktiler, glas- hell durchsichtiger, becher- oder hohlkegelförmiger Aufsatz den basalen Teil der Geißel manschettenartig umgibt¹⁾, ist vielleicht als eine Weiterbildung dieses amöboiden „Peristoms“ der Bicöciden aufzufassen. Hier gleiten die Nahrungskörper an der Außenwand des Kragens nach hinten (Fig. 285) und werden an der Basis des Kragens von einer Empfangsvakuole aufgenommen (Fig. 285 a, *Ev*), in der sie wie bei den Monadinen zunächst unmittelbar unter dem Periplast nach hinten befördert werden (Fig. 285, b und c), um erst am Hinterende des Tieres in das Endoplasma aufgenommen zu werden.

Die Entstehung der Empfangsvakuole ist übrigens noch nicht genügend klargestellt. BIEDERMANN (1910) ist nicht überzeugt davon, daß

1) Einzelne Gattungen der *Craspedomonaden* (*Diplosiga* und *Diplosigopsis*) sollen nach FRANCÉ einen doppelten Kragen besitzen. Vermutlich liegt hier aber ein Irrtum vor, und ist der anscheinende äußere Kragen nichts anderes wie der vordere Rand des Gehäuses dieser Formen.

es sich bei ihr wirklich um eine Vakuole handelt, er erhielt von dem, was er selbst sah, vielmehr den Eindruck hyaliner Pseudopodien, die den Nahrungskörper umgreifen.

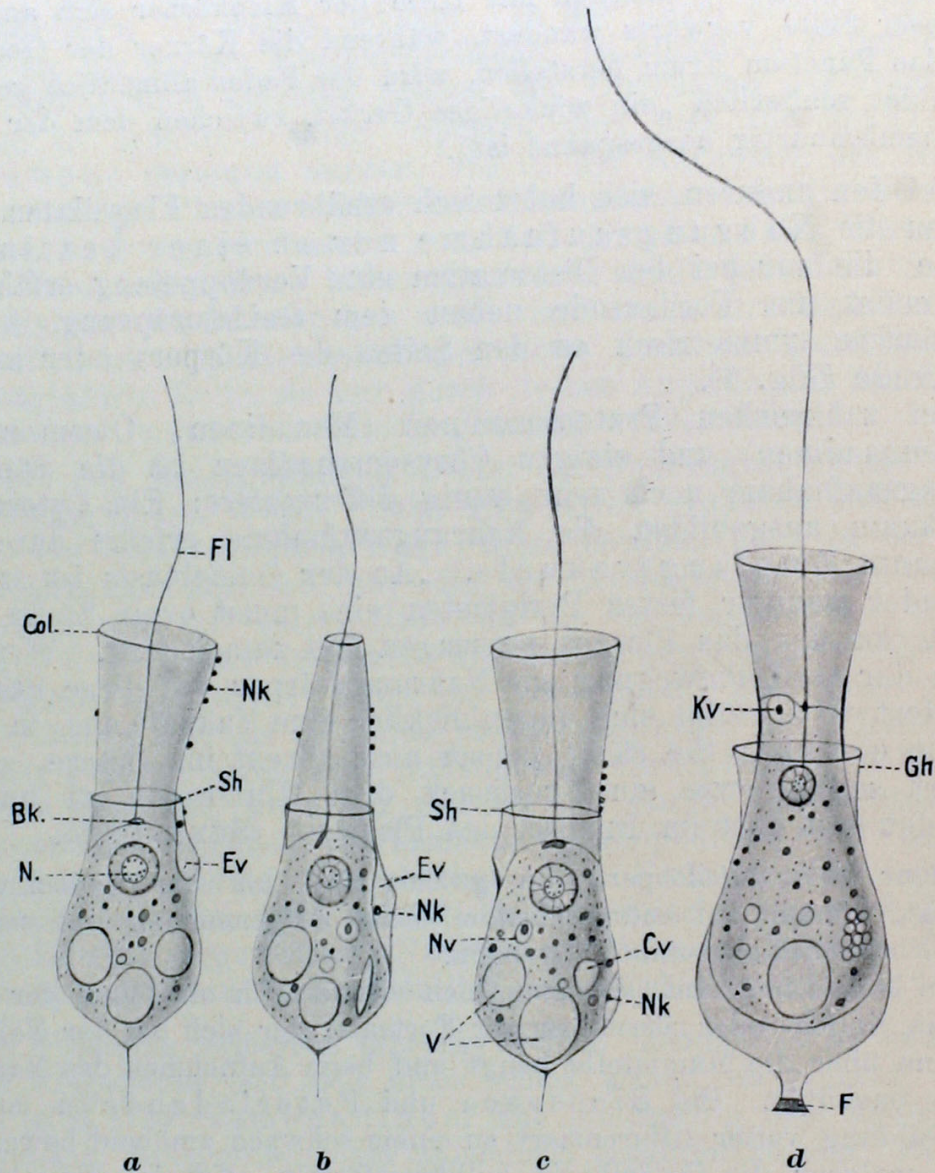


Fig. 285. **Ernährungsorganellen von Craspedomonaden.** *a—c* Drei Stadien der Nahrungsaufnahme bei *Codosiga botrytis* (EHRBG.). Vergr. 1200:1. *d* *Salpingoeca amphoridium* J. CL. im Augenblick der Defäkation. Vergr. 1500:1. *Bk* Basalkörperchen der Geißel, *Col* Kragen, *Cv* kontraktile Vakuole, *Ev* Empfangsvakuole, *F* Fuß des Gehäuses, *Fl* Geißel, *Gh* Gehäuse von *Salpingoeca*, *Kv* Kotvakuole, *N* Kern, *Nk* Nahrungskörper, *Nv* Nahrungsvakuole, *Sh* Schleimhülle von *Codosiga*, *V* nicht-kontraktile Flüssigkeitsvakuolen. Nach BURCK 1909.

Bei manchen Bodonaceen liegt die Mundstelle an dem rüsselartig zugespitzten Vorderende vor dem Geißelursprung und kann sich an der Oberfläche anderer Protozoen fixieren, um diese Beutetiere auszusaugen (Fig. 286). *Bodo caudatus* vermag auf diese Weise sogar Ciliaten zu bewältigen, sowie *Chlamydomonas*, in deren Schale er ein feines Loch direkt bohrt oder durch Auflösung erzeugt.

Eine weitergehende Differenzierung besteht darin, daß sich am Vorderende des Körpers eine grubige, spaltförmige oder sackförmige Einsenkung findet, an deren Rande oder Wand die Geißeln entspringen und in deren Grund der Periplast fehlt (ob bei allen Arten?).

Bei den Distomatina ist diese Einsenkung, wenn überhaupt vorhanden, paarig und an den Seiten oder am Hinterende des Körpers gelegen (Fig. 8).

Daß diese Einsenkung tatsächlich gleich dem Cytopharynx der Infusorien zur Aufnahme der Nahrung dient, ist nur für wenige Arten erwiesen. Bei den meisten Euglenoideen, bei denen die fragliche Einsenkung als „Trichter“ bezeichnet wird, ist es sicher nicht der Fall. Auch bei den Cryptomonadinen (Fig. 16) ist es nie beobachtet und wenig wahrscheinlich. Dagegen scheint die Funktion solcher Einsenkungen als Mundstelle sichergestellt bei einigen Protomonadinen, so für einen großen, die Geißelbasis aufnehmenden, nach oben und seitlich offenen Ausschnitt am Vorderende von Phyllomitus, ferner für eine stärker oder schwächer ausgebildete Mulde oder Furche in der Nähe der Geißelbasis von Tetramitus und für die paarigen Mundspalten der Distomatina, die bei Trigonomonas schwach muldenförmig und schraubig gekrümmt, bei Trepomonas

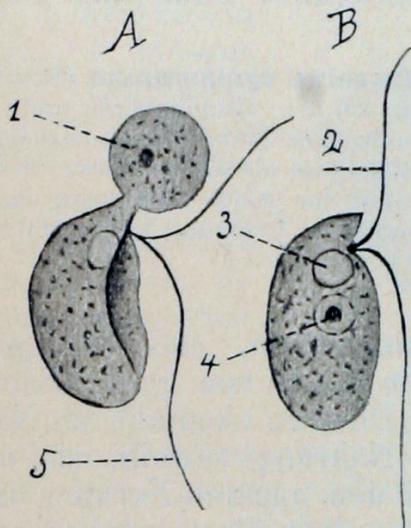


Fig. 286.

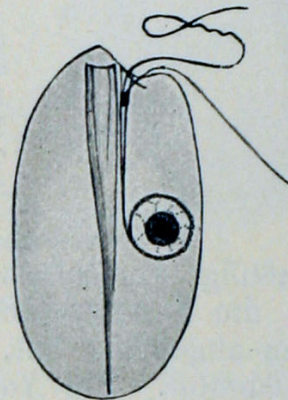


Fig. 287.

Fig. 286. **Bodo edax** KLEBS (in A eine Monade verschluckend). 1 eingefangene Monade, 2 Hauptgeißel, 3 kontraktile Vakuole, 4 Kern, 5 Schleppgeißel. Vergr. ca. 1500:1. Nach KLEBS 1892/93.

Fig. 287. **Entosiphon sulcatum** PROW. Nach PROWAZEK (1903) aus DOFLEIN.

infolge flügelartiger Verbreiterung und Einkrümmung der Körperränder taschenförmig und bei Hexamitus (Fig. 8) mehr spaltförmig sind, während sie bei Urophagus ganz ans Hinterende gerückt sind, das in 2 schnabelähnliche bewegliche Klappen ausläuft, mit denen die Nahrung erfaßt und der Mundstelle zugeführt wird. Bei den parasitischen Distomatina (Octomitus und Lamblia) fehlen derartige Ernährungsorganellen. Ueber Fanapepea vgl. S. 229.

Bei den sich tierisch ernährenden Euglenoideen (Angehörigen der Familie Peranemidae) scheint ein eigenartiges Staborgan der Nahrungsaufnahme zu dienen. Es ist dies ein gerades, scharf umgrenztes stab- oder röhrenförmiges Gebilde, das seine Form auch bei den stärksten metabolischen Körperkontraktionen nicht verändert und bei Entosiphon als neben dem Trichter gelegene, vorn und hinten offene Röhre fast den ganzen Körper durchzieht (Fig. 287). „Soll Nahrung aufgenommen werden, so streckt der Organismus die Röhre vor, z. B. an Bakterienhaufen u. a., und nun strömen kleine Körnchen

in die Röhre hinein. Sie dient somit wohl als Saugapparat“ (SENN 1900). Bei anderen Peranemiden (*Peranema*, *Urceolus*) scheint das Staborgan mit dem Trichter in Verbindung zu stehen und hier ähnlich dem Kolben einer Pumpe die Nahrung in den Trichter selbst einzusaugen (Fig. 288).

Die Dinoflagellaten ernähren sich in ihrer großen Mehrzahl teils holophytisch, teils saprophytisch. Bei mehreren Arten ist aber auch bereits holozoische Ernährung durch Aufnahme fester Nahrungskörper nachgewiesen. Nach DOGIEL (1906) ist sogar „die animale Ernährungsweise bei den Peridineen höchstwahrscheinlich viel weiter verbreitet, als bisher angenommen wurde“. Jedenfalls ist sie wenigstens unter den nackten Gymnodiniaceen nicht selten. Auch bei dem mit einer deutlichen Hülle versehenen *Glenodinium edax* fand SCHILLING

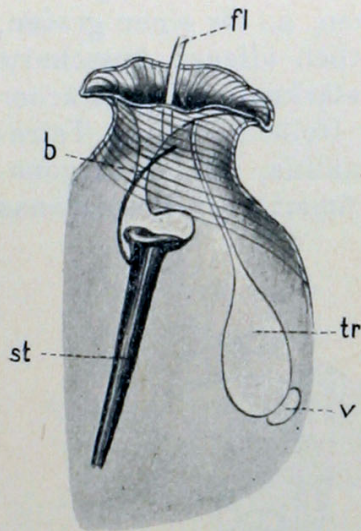


Fig. 288. **Urceolus cyclostomus** (STEIN). (Peranemide, vgl. Fig. 18, C). Mundapparat und Vakuolensystem. *b* bogenförmiger Stab, der anscheinend bei der Bewegung des Staborgans als Hebel wirkt, *v* kontraktile Vakuole, *fl* Basalteil der (nicht vollständig dargestellten) Geißel, *st* Staborgan, *tr* Trichter. Vergr. 2000:1. Nach SENN (1900).

(1891) häufig verschluckte Chlamydomonaden, und klumpige Einschlüsse, die SCHÜTT (1895) bei einer Reihe von gepanzerten Dinoflagellaten abgebildet hat, werden von DOGIEL ebenfalls als Nahrungsbällen gedeutet. Die Aufnahme der Nahrung sowohl wie auch die Defäkation geht anscheinend auch bei den nackten Formen durch die Geißelspalte vor sich, aus der sich das Protoplasma (nach einer Beobachtung DOGIELS bei *Gymnodinium coeruleum*) verhältnismäßig sehr weit vorstülpen kann (vgl. auch S. 225).

Bei *Gymnodinium spirale* var. *obtusum* fand DOGIEL stets nur einen einzigen Nahrungsballen, während deren z. B. bei *Polykrikos* zahlreiche gefunden wurden. Dieser Nahrungsballen war „von einer dünnen gelblichen, hier und da runzeligen Hülle umgeben, die vom Tier selbst abgetrennt wird. Bisweilen kann man im Ballen mehrere konzentrische Schichten unterscheiden, jede mit eigener Hülle. Die Hülle gab keine Reaktion auf Cellulose.“ Der Inhalt des Nahrungsballes bestand aus Diatomeenpanzern (bzw. einmal einem Haufen noch nicht ganz verdauter Diatomeen), Bruchstücken von Radiolarienskeletten und einachsigen Nadeln unbekannter Herkunft.

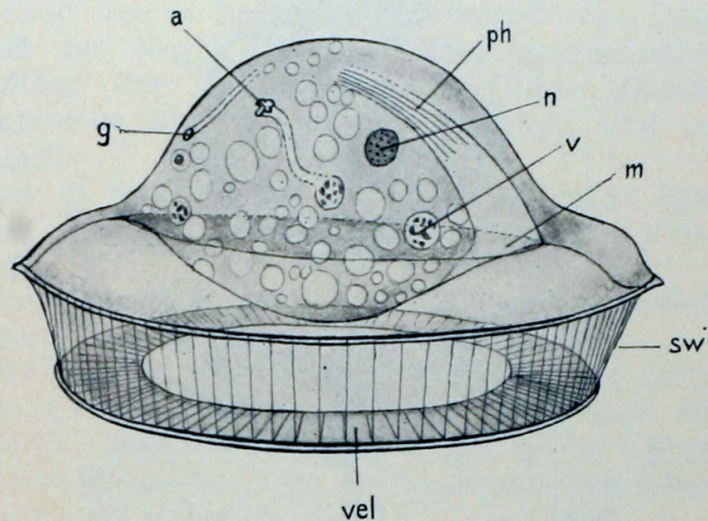
Die Cystoflagellaten ernähren sich animalisch und haben gut ausgebildete Ernährungsorganellen, wenn diese auch bei den einzelnen Gattungen verschieden entwickelt sind.

Bei *Noctiluca* zieht auf der Bauchseite eine Furche („Peristom“) von vorn nach hinten, die den Körper pfirsichförmig erscheinen läßt und vorn hinter der Bandgeißel besonders tief ist. In ihrem Grunde liegt die Mundspalte als einfache Unterbrechung des Periplast, die den Nahrungspartikelchen den Eintritt in das Plasma gestattet. Diese werden anscheinend dadurch in die Peristomfurche und die Mundspalte hinein-

getrieben, daß die Bandgeißel sich von Zeit zu Zeit gegen die Furche hinunterschlägt (Fig. 233).

Ueber die Ernährungsorganellen von *Leptodiscus* ist man noch nicht genügend unterrichtet, anscheinend gleichen sie jedoch im wesentlichen denen der dritten Cystoflagellatengattung, der medusenförmigen, sich vornehmlich von kleinen Algen nährenden *Craspedotella* (Fig. 289). Bei dieser senkt sich von der Unterfläche, deren starke Konkavität wohl der Peristomfurche von *Noctiluca* zu vergleichen ist, ein wohlausgebildeter *Cytopharynx* in die Tiefe in Form einer langen und verhältnismäßig weiten Röhre, die in ihrem inneren Teile einige in das Lumen vorspringende Längsleisten besitzt (KOFOID 1905).

Fig. 289. ***Craspedotella pileolus*** KOFOID. Durchmesser 0,15—0,18 mm. Marin. *a* Cytopyge, *g* Mündung der Geißelscheide, *m* Cytostom, *n* Kern, *ph* Cytopharynx, *sw* kontraktile Seitenwand der ausgehöhlten Unterfläche, *v* Nahrungsvakuole, *vel* Velum (offenbar funktionell dem Velum der craspedoten Medusen entsprechend). Nach KOFOID 1905.



4. Den durchweg parasitischen **Sporozoen** fehlen besondere Organellen zur Nahrungsaufnahme in der Regel. Diese erfolgt vielmehr durch Osmose auf der gesamten Körperfläche. Nur bei wenigen Arten scheint ähnlich wie bei einzelnen Cnidosporidien (vgl. S. 278) die osmotische Nahrungsaufnahme, wenn auch wohl nur vorzugsweise, auf bestimmte Körperstellen lokalisiert zu sein und nur für eine einzige Art, *Stomatophora coronata*, wird die Aufnahme körperlicher Nahrung und der Besitz besonderer Organellen, die dieser Aufnahme dienen, angegeben.

Unter den Coccidien, denen sonst besondere Ernährungsorganellen völlig fehlen, kann hier nur eine Art angeführt werden, bei der eine gewisse Lokalisation der osmotischen Nahrungsmittelaufnahme stattgefunden zu haben scheint. Während die Mehrzahl der Coccidien rundliche oder ovale Form haben, wird die in den Spermatogonien von *Polymnia nebulosa* schmarotzende *Caryotropha mesnili* beim Wachstum sehr bald nierenförmig und legt sich mit ihrer Konkavität eng an den Kern der Wirtszelle an (Fig. 290, A). „Gleichzeitig bildet sich zwischen dem Kerne des Parasiten und derjenigen Stelle seiner Oberfläche, wo sich der Wirtskern anschmiegt, ein sehr dichter protoplasmatischer Strang; man bekommt den Eindruck, als wenn es zwischen den beiden Kernen eine Strömung im Protoplasma gäbe.“ Beim weiteren Wachstum des Coccids wird der hypertrophierende Kern der Wirtszelle noch weiter umwachsen und liegt schließlich in dem Eingang zu einer tiefen spaltförmigen Einsenkung des Coccidienkörpers, die auf quer zur Längsrichtung des Spaltes geführten Schnitten den Eindruck eines engen,

vom Wirtskern zum Parasitenkern führenden Kanales macht (Fig. 290, *B*) und offenbar eine wichtige Rolle bei der unter direkter Ausnutzung der Arbeit des Wirtskernes erfolgenden Nahrungsaufnahme des Parasiten spielt (SIEDLECKI 1907).

Bei den Gregarinen ist eine vorzugsweise Lokalisation der osmotischen Nahrungsaufnahme auf bestimmte Körperstellen vielleicht etwas weiter verbreitet. LÉGER und DUBOSQ (1902) vertreten nämlich die Auffassung, daß das Epimerit der Polycystideen, die Filamente des Proto-

merits von *Pterocephalus* und das Tastpseudopod von *Lankesteria* die Gregarinen nicht nur am Darmepithel ihrer Wirte fixieren (vgl. S. 270 ff.), sondern auch Nahrungsstoffe aus demselben saugen, ja daß diejenigen Gregarinen, deren Haftorganellen das ganze Epithel bis zu seiner Basis durchsetzen, wie z. B. *Pyxinia möbuszi* und *Pterocephalus*, Nährstoffe direkt dem den Darm umspülenden Blut ihrer Wirte entnehmen.

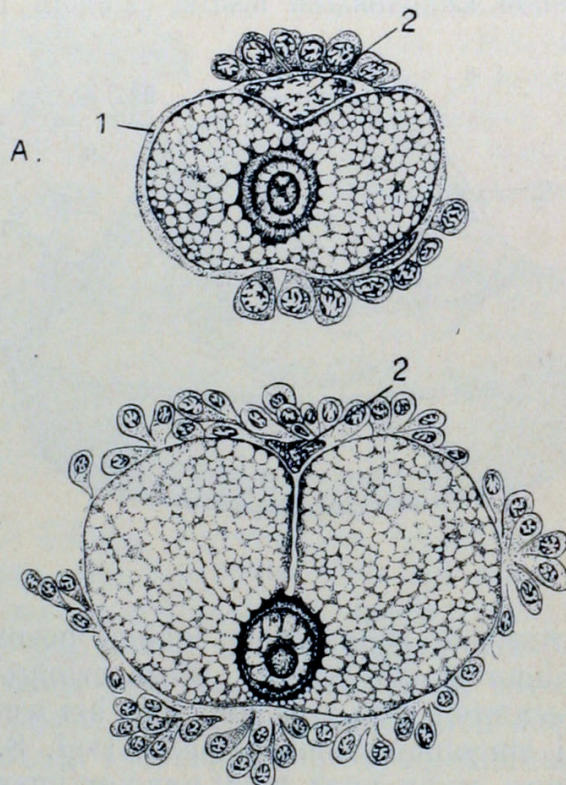


Fig. 290.

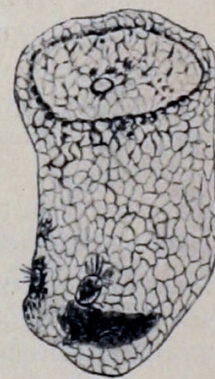


Fig. 291.

Fig. 290. **Caryotropha mesnili** SIEDL. *A* noch jungendliches, *B* erwachsenes Coccid. 1 Plasma der Wirtszelle, 2 Kern der Wirtszelle, von dem aus in Fig. *B* ein Kanal bis zum Kerne des Parasiten reicht. Vergr. 500:1. Nach SIEDLECKI 1907.

Fig. 291. **Stomatophora coronata** HESSE. Nahezu in der Mitte des scheibenartig abgeflachten Vorderendes das kleine Cytostom. Nach DRZEWIECKI (1907).

Ganz abweichend ist nach DRZEWIECKI (1907) die Ernährung bei *Stomatophora coronata*, einer in einem afrikanischen Oligochäten schmarotzenden Monocystidee. Während die Jugendformen der Gregarine intracellulär in einem Spermatophor des Wirtes schmarotzen und sich osmotisch ernähren, sollen ältere Stadien direkt die nicht zur Entwicklung gelangten Spermatozoen fressen, die noch auf den Resten des aufgezehrten Spermatophors sitzen. Am Vorderende der Gregarine hat sich eine scheibenförmige Abplattung entwickelt und in deren Mitte ist ein (bei den Jugendformen noch fehlendes) kleines Cytostom aufgetreten (Fig. 291), durch das die Spermatozoen aufgenommen werden. Die erwachsene, aus dem Spermatophorenreste ausgeschlüpfte Gregarine soll sich dann wieder fast ausschließlich osmotisch ernähren; bei ihr konnte das Cytostom nur noch sehr selten wahrgenommen werden, während die Abplattung des Vorderendes, welche DRZEWIECKI dem

Peristom der Ciliaten vergleicht, zu einer zeitweisen Anheftung an die Wände der Samenblasen benutzt wird.

5. Die **Wimperinfusorien (Ciliata)** besitzen mit Ausnahme einiger parasitischer, sich nur durch Osmose ernährender Formen (den Opalinen und den Astomata) stets eine lokalisierte Mundstelle zur Aufnahme körperlicher Nahrung, ein Cytostoma. Nur durch dieses Cytostom, das im einfachsten Falle nur eine Lücke im Ektoplasma darstellt, gelangt die Nahrung in das Endoplasma hinein. Ursprünglich liegt dasselbe an dem einen Pole (dem Vorderende) des spindelförmigen, ellipsoiden oder ovoïden Körpers. Doch rückt es bei den meisten Formen vom Vorderende etwas fort; man bezeichnet dann die Fläche, auf der es liegt, als die Bauchfläche. Dem Cytostom gesellen sich in der Regel weitere Ernährungsorganellen bei, die zum Herbeischaffen der Nahrung und zu ihrer Hineinbeförderung in das Endoplasma dienen. Diese Organellen sind im allgemeinen von dreierlei Art:

1) Das Cytostom führt in eine röhren- oder trichterförmige Einsenkung des Ektoplasmas, die als Zellschlund oder Cytopharynx bezeichnet wird.

2) Die Umgebung des Cytostoms oder des Cytopharynx vertieft sich in größerer Ausdehnung und bildet das Peristomfeld.

3) In den Dienst der Herbeistrudelung der Nahrung und ihrer Weiterbeförderung in das Körperinnere tritt ein Teil oder auch die Gesamtheit der ursprünglich motorischen Organellen, d. h. der Cilien, und zwar die auf dem Peristomfelde und im Cytopharynx stehenden. Diese nutritiven Cilien sind dann vielfach

a) kräftiger und länger wie die benachbarten motorischen Cilien oder im Interesse noch weiter gesteigerter Wirksamkeit zu Membranellen oder undulierenden Membranen verschmolzen (vgl. S. 239 ff.) und ferner

b) auf dem Peristomfelde zu einer gekrümmten oder spiralförmig gewundenen Reihe angeordnet, der adoralen Zone, die in den Grund des Peristomfeldes, zum Cytostom und Cytopharynx, führt. Die Bewegung der motorischen Organellen dieser Zone (es sind meist, aber nicht immer Membranellen) befördert die Nahrung zum Schlunde. Am stärksten ausgebildet ist die adorale Zone im allgemeinen bei den vorübergehend oder dauernd festsitzenden Formen.

Im folgenden seien die im Dienste der Nahrungsaufnahme stehenden Organellen für einige typische Vertreter der Hauptabteilungen der Ciliaten geschildert.

1. **Holotricha.** Die einfachsten Verhältnisse scheinen bei gewissen Holophrya- und Enchelys-Arten vorzukommen, die noch keinen Schlund besitzen sollen, bei denen vielmehr nur ein Cytostom vorhanden ist in Form einer einfachen kleinen Unterbrechung des Ektoplasmas, in deren Bereich das Endoplasma nackt zutage tritt. Bei *Holophrya simplex* SCHEW. liegt dasselbe am vorderen Pole des kurz-ellipsoidischen gleichmäßig bewimperten Körpers im Niveau der Umgebung, bei *Enchelys nebulosa* MÜLL. ist durch die Ausbildung einer das Cytostom umgebenden sphincterartigen Lippe ein kleiner Fortschritt erzielt, bei *Chaenea* ist das Cytostom spaltförmig in die Länge gezogen.

Bei den meisten Ciliaten schließt sich jedoch an das Cytostom ein Cytopharynx an in Form einer röhren- oder trichterförmigen Ein-

stülpung des Ektoplasmas, wenngleich dessen Lumen im Ruhezustand durch einen vorquellenden Endoplasmappropf vollständig ausgefüllt sein kann (z. B. bei *Trachelius ovum*).

Mit dem Cytopharynx kann dann ein Trichiten- oder ein Reusenapparat verbunden sein.

Trichiten sind nadelförmige Einschlüsse des Endoplasmas, die sich in dem den Cytopharynx füllenden Protoplasmapropf zu einem parallelen Bündel gruppieren (Fig. 292 und 293) und, ohne Größe und Form zu ändern, ausgeschleudert werden können. Sie dienen dazu, Beutetiere (Euglenen, andere Infusorien usw.) zu lähmen, die dann von dem sehr erweiterungsfähigen Cytostom verschluckt werden. Wenn z. B. *Trachelophyllum apiculatum* „ein anderes Infusorium, wie z. B. *Euplotes charon*, angreift, so sieht man, wie dieses noch einige krampfhaft zitternde Bewegungen mit den Cirren ausführt und dann ganz bewegungslos allmählich hinabgewürgt wird“ (BLOCHMANN 1895). Die dergestalt verschluckten Beutetiere können dank der großen Erweiterungsfähigkeit von Cytostom und Cytopharynx größer sein als der verschluckende Räuber (vgl. z. B. Fig. 113).

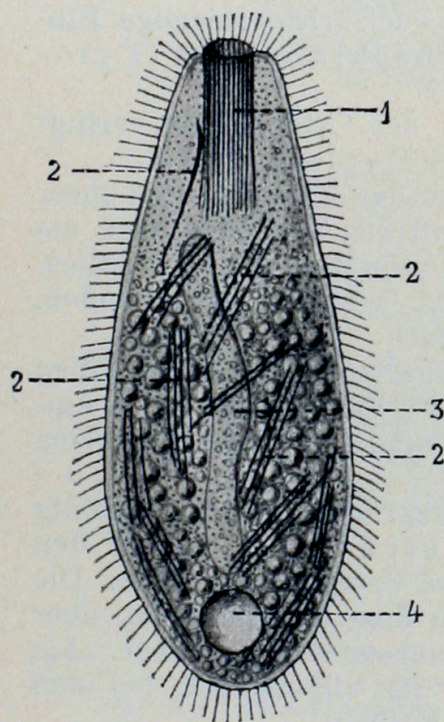


Fig. 292.

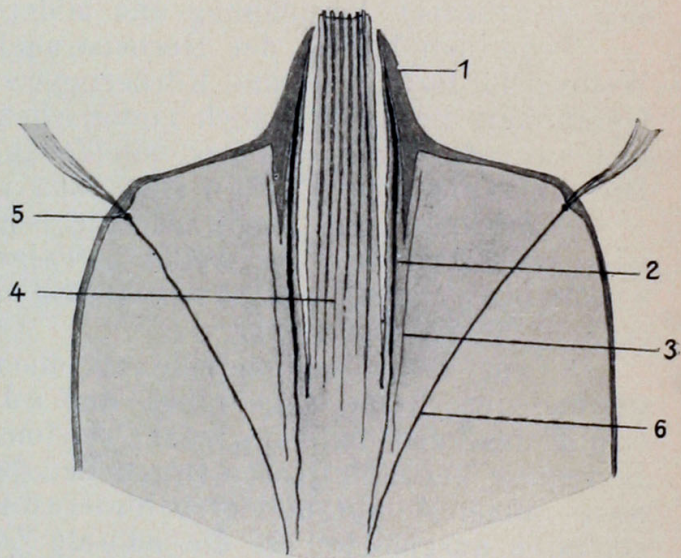


Fig. 293.

Fig. 292. **Enchelyodon farctus** CL. u. L. Länge bis 300 μ . Süßwasser. 1 Trichitenbündel im Cytopharynx, 2 noch nicht in den Pharynx vorgeschobene Trichiten an ihrer Bildungsstätte im Endoplasma, 3 Makronucleus, 4 pulsierende Vakuole. Nach BLOCHMANN 1895.

Fig. 293. **Didinium nasutum** MÜLL. Längsschnitt durch das Vorderende. 1 Cytopharynx, 2 Reusenstäbe in dessen Wandung, 3 an dem Cytopharynx außen entlang laufende Fibrillen, 4 Trichitenbündel im Cytopharynx, 5 Basalkörperchen des vorderen Wimperkranzes, 6 zu diesen Basalkörperchen hinziehende Fibrillen. Nach THON 1905.

Als Reusenapparat wird ein Kranz von Stäbchen bezeichnet, die der ektoplasmatischen Cytopharynxwand dicht anliegen, sie längsgestreift erscheinen lassen (Fig. 59) und ihr offenbar als Stütze dienen. Sie verlaufen meist der Achse des Cytopharynx nicht ganz parallel, sondern in schwach schraubenförmiger Anordnung (Fig. 294). Ihre Zahl ist großen Schwankungen unterworfen (z. B. bei *Coleps hirtus*

[Fig. 295, *B*] ca. 13, bei *Prorodon teres* [Fig. 59] 45—55). Bei *Prorodon teres* sind besondere Myoneme des Reusenapparates nachgewiesen worden, indem sich nahe dem Vorderende jedes einzelnen Stäbchens ein kräftiges, unter dem Ektoplasma der Körperoberfläche nach hinten ziehendes Myonem inseriert (Fig. 295 *A*, *Mr*), dessen Kontraktion den Reusenapparat vorne spreizt und damit die Mundöffnung erweitert, während außerdem noch ein kurzes feines Fäserchen nach vorn zieht (Fig. 295 *A*, *Mr'*), dessen Kontraktion vielleicht das häufig beobachtete Vorstoßen des Reusenapparates bewirkt. Bei *Didinium* finden sich Reusenapparat und Trichiten nebeneinander (Fig. 293).

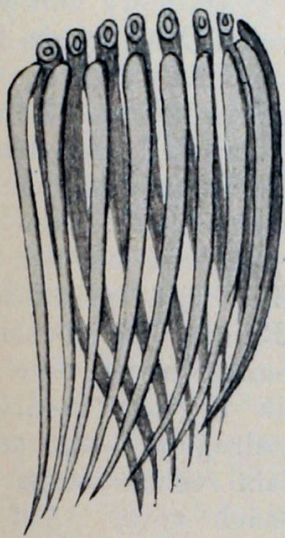


Fig. 294.

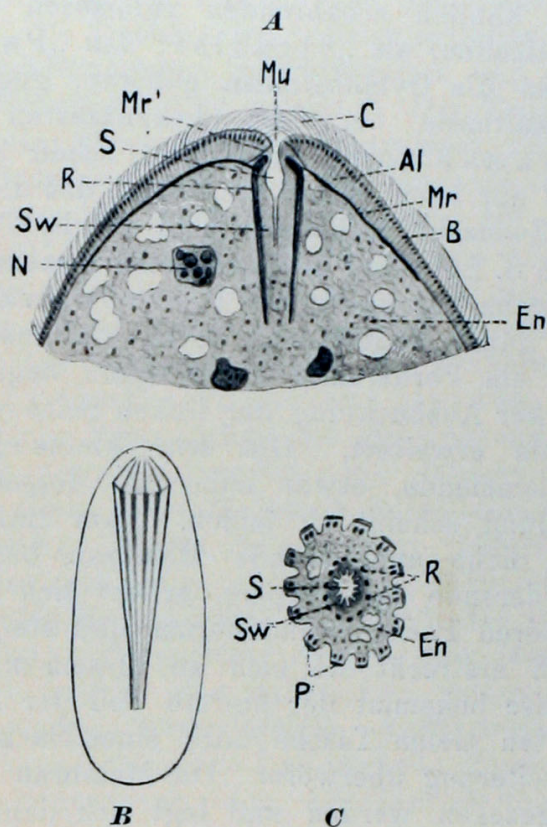


Fig. 295.

Fig. 294. **Reusenapparat von *Chlamydodon mnemosyne* STEIN** in Seitenansicht. Nach ERLANGER 1890.

Fig. 295. **Reusenapparat verschiedener Ciliaten. A *Prorodon teres* EHRBG.** Längsschnitt durch das Vorderende. *Al* Alveolarschicht des Ektoplasmas, *B* Basalkörperchen der Cilien, *C* Cilien, *En* Endoplasma, *Mr* und *Mr'* Myoneme des Reusenapparates, *Mu* Cytostom, *N* Makronucleus, *R* Reusenstäbchen, *S* Cytopharynx, *Sw* dessen Wandung. **B *Coleps hirtus* MÜLL.** Totalansicht des Reusenapparates mit dem Umriß des ganzen Körpers. **C** Querschnitt durch das Vorderende desselben Infusors. Buchstaben wie bei *A*. Außerdem *P* Querschnitt durch die Panzerplatten. Nach MAIER 1903.

Einen wichtigen Fortschritt machen *Nassula* und Verwandte (Fig. 60). Außer der allgemeinen Körperbewimperung tritt hier zum ersten Male eine adorale Zone stärkerer Wimpern auf (aber noch einzelne Wimpern, keine Membranellen!), die, vorn auf der Rückenfläche beginnend, nach links zieht, dann auf die Bauchfläche umbiegt und schief nach innen und hinten zu dem auf die Bauchfläche des dorso-ventral schwach abgeplatteten Körpers verlagerten Munde verläuft.

Alle bisher besprochenen Formen und ihre Verwandten, die sogenannten Gymnostomen, leben räuberisch, öffnen den Mund

nur bei der Nahrungsaufnahme und verschlucken ansehnliche Bissen. Eine zweite Gruppe von Holotrichen, die sogenannten Hymenostomen, die sich von ganz feiner Nahrung ernähren (es sind fast ausschließlich Bakterienfresser), hat dagegen Cytostom und Cytopharynx dauernd offen: in der Umgegend des Mundes vertieft sich die Bauchseite meist einseitig zu einem Peristom, in dem Schlunde (oder auch außen am Mund bzw. Peristomrande) findet sich eine undulierende Membran und eine ununterbrochen unterhaltene Wasserströmung führt fast beständig neue feine Nahrung zum Munde und durch den Schlund in den Körper hinein. Die Hymenostomen werden daher auch samt anderen sich ähnlich ernährenden Infusorien (z. B. Stentor, Fig. 299, und Vorticellen) als „Strudler“ den „Packern“ oder „Schlingern“, zu denen die Gymnostomen gehören, gegenübergestellt. Wir haben diese Verhältnisse bei dem bekanntesten Vertreter der Hymenostomen, *Paramecium*, auf S. 100, schon ausführlich geschildert und wollen hier nur noch darauf hinweisen, daß die undulierenden Membranen häufig in Zweizahl vorhanden sind (z. B. *Colpidium*, *Glaucoma*, vergl. auch S. 241) und sehr stattliche Dimensionen erreichen können. Letzteres ist ganz besonders bei *Pleuronema* (Fig. 61) der Fall, bei dem fast die ganze Ventralseite durch ein ansehnliches Peristom ausgehöhlt ist, das am Vorderende des Körpers beginnt und sich nach hinten unter starker Ausbuchtung der linken Seite zu einer großen und ziemlich tiefen Höhle erweitert. Die sehr kleine Mundöffnung liegt im hintersten Peristomende, etwas näher zu dessen linkem Rande; ein besonderer Schlund scheint zu fehlen. „Am linken Peristomrande ist eine lange und hohe undulierende Membran befestigt. Sie beginnt niedrig am Vorderende des Körpers, erhöht sich in der Mittelregion, biegt um den hinteren Peristomrand herum und steigt wieder am rechten empor. Jedoch erstreckt sie sich an diesem nicht weit nach vorn. Auf diese Weise bekommt der hintere Teil der Membran die Beschaffenheit einer weiten tiefen Tasche oder eines Sackes, welcher die hintere Peristomerweiterung überwölbt. Die Membran kann in das Peristom vollkommen eingezogen werden und legt sich dann faltig zusammen. Am vorderen Teile des rechten Peristomrandes, d. h. bis zu der Stelle, wo die undulierende Membran aufhört, sind sehr lange und feine Cilien befestigt: dieselben sind schief nach hinten und nach dem Peristom einwärts gekehrt. Während der Nahrungsaufnahme (Bakterien) wird die undulierende Membran vollkommen ausgespannt und die am rechten Peristomrande befestigten Cilien wirbeln stark, so daß ein heftiger Wasserstrom zum Munde geht.“ (SCHEWIAKOFF 1889.)

Sehr merkwürdige, funktionell etwas an die Pseudopodien der Radiolarien und Heliozoen erinnernde Fangorganellen, die hier noch anzuführen sind, sind die sogenannten „Tentakel“ von *Actinobolus radians* STEIN, einem interessanten, zu den niederen Holotrichen gehörenden Ciliaten. Diese Tentakel, die sich ringsum auf der ganzen Oberfläche des kugeligen Körpers in den Cilienlängsfurchen in regelmäßigen Abständen erheben und deren Länge das doppelte des Körperdurchmessers erreichen kann, haben mit den Fangtentakeln der Suctorien nichts gemein, erinnern vielmehr an Pseudopodien. Wenn das Tier schwimmt, werden sie zurückgezogen; wenn es frei schwebend zur Ruhe kommt, werden sie langsam wieder vorgestreckt. An einem völlig vorgestreckten Tentakel kann man 3 Abschnitte unterscheiden: a) einen proximalen, dicken, kegelförmigen Teil, b) einen langen, nur halb so

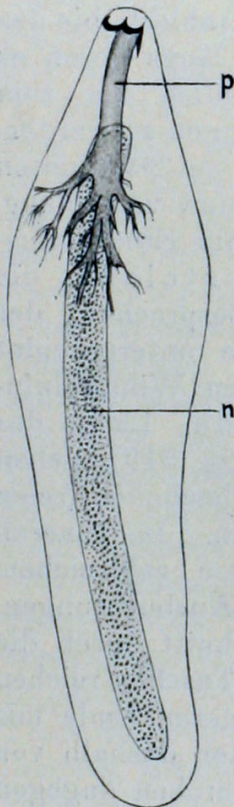
dicken Hauptteil (beide sind vollkommen durchsichtig) und c) einen kürzeren, stark lichtbrechenden und dünneren Endabschnitt, der etwas verbreitert mit einem Knöpfchen endet. Dieser Endabschnitt ist mit Trichocysten geladen, die bei dem Hervortreten der Tentakel emporgehoben werden. Bei dem ruhig schwebenden Infusor ist das Cytostom abwärts gerichtet, während die Tentakel strahlenförmig nach allen Richtungen ausgestreckt sind, einen kleinen Wald plasmatischer Fortsätze bildend, in den kleinere Ciliaten wie *Urocentrum*, *Gastrostyla* u. a. oder Flagellaten aller Art hineingeraten können, ohne Schaden zu leiden oder den *Actinobolus* zu beunruhigen. Wenn jedoch eine *Halteria grandinella* mit ihren raschen sprungweisen Bewegungen herannaht, ist der *Actinobolus* nicht so friedlich, die Trichocysten werden entladen und die *Halteria* macht vergebliche Anstrengungen zu entkommen und wird bald ruhig, mit ausgestreckten Wimpern völlig gelähmt. Der Tentakel wird dann mit der an ihm haftenden Beute langsam kontrahiert, bis das Opfer dicht an die Körperoberfläche herangezogen ist, längs deren es durch die Wirkung der Wimpern des Räubers allmählich bis zum Munde befördert wird, um dann auf einen Ruck verschlungen zu werden. CALKINS (1901) beobachtete, wie ein *Actinobolus* innerhalb von 20 Minuten nicht weniger als 10 *Halterien* in dieser Weise einfing und verschlang.

Ein in anderer Weise isoliertes Verhalten zeigen die Ernährungsorganellen bei der parasitischen *Pycnothrix monocystoides*, die wir wegen einer weiteren auffälligen Besonderheit bei Besprechung der Exkretionsorganellen noch einmal antreffen werden. Sie unterscheidet sich nach SCHUBOTZ (1908) von allen anderen bekannten Wimperinfusorien durch den Besitz zahlreicher Mundöffnungen. Längs des ganzen, bis 3 mm langen Körpers des Infusors (vgl. Fig. 319) ziehen zwei furchenartige Einsenkungen des Ektoplasmas, die gleich der freien Oberfläche ein gleichmäßiges dichtes Wimperkleid tragen. Im Inneren dieser Wimperfurchen findet sich jedoch eine Reihe von zahlreichen, ziemlich dicht aufeinander folgenden taschenartigen Ausbuchtungen, derart, daß ein diese Ausbuchtungen treffender Längsschnitt durch die Wimperfurche eine wellenförmige Begrenzung zeigt. Die Taschen reichen bis in das Endoplasma hinein und scheinen an ihrem inneren Ende mit diesem in offener Kommunikation zu stehen. Sie werden deshalb von SCHUBOTZ dem Cytopharynx resp. Cytostom, die Wimperfurchen dagegen dem Peristomfeld anderer Ciliaten verglichen. Zwischen je zwei aufeinander folgenden Taschen verlaufen zahlreiche sich kreuzende Myoneme, die größtenteils an der Wand der Wimperfurche inserieren, zum kleineren Teil sich aber auch ins umgebende Plasma verfolgen lassen; sie dienen offenbar dem Verschuß der Rinne und „sind etwa Sphincteren vergleichbar“.

Völlige Rückbildung der Ernährungsorganellen infolge von Symbiose mit Algen fand LOHMANN (1912) bei dem in der Flachsee bei Kiel aufgetretenen *Mesodinium rubrum*, einem mit *Didinium* verwandten Holotrichen, dessen Bewimperung sich auf einen doppelten Gürtel cirrenähnlicher Wimpern beschränkt und „das in der Jugend farblos ist und wie andere Arten einen weiten Mund besitzt, der auf einem Mundkegel sich öffnet. Wachsen die Ciliaten aber heran, so treten zuerst in der Nähe des Kernes am hinteren Pol der Zelle kleine rote Plättchen auf, die rasch an Zahl zunehmen und sich der Innenfläche der Zellmembran anlegen; sie stellen die Chromatophoren kleiner Algen dar (*Erythromonas haltericola*), von denen bis zu 100 in einem Tiere leben können. Während

dieser Ansiedelung der Algen schließt sich nun der Mund vollständig, der Mundkegel rundet sich ab und erreicht allmählich die Größe des ganzen übrigen Körpers, so daß die ganze Gestalt des Mesodiniums vollständig geändert wird, während die Cilien und Schweb- und Springborsten unverändert erhalten bleiben und in früherer Weise funktionieren.“

Endlich ist hier noch der eigenartigen Intoshellina zu gedenken, die im Darm von Tubifex schmarotzt und zu den sich lediglich durch Osmose ernährenden Astomen gehört. Während nun den anderen Astomen Ernährungsorganellen vollständig fehlen, zieht bei Intoshellina von dem bereits auf S. 267 besprochenen Hafthaken aus ein Plasmastrang ins Innere des Körpers hinein, der sehr viel grobkörniger ist als das ihn umgebende Endoplasma. Seine Form ist außerordentlich wechselnd,



sein inneres Ende bald unregelmäßig zugespitzt, bald dendritisch verästelt (Fig. 296). CÉPEDE betrachtet ihn als Zeugen eines bei den Vorfahren des Parasiten vorhanden gewesenen Cytopharynx. Ich möchte aber vermuten, daß vielleicht auch noch jetzt die osmotische Nahrungsaufnahme bei Intoshellina vorwiegend (wenn nicht gar ausschließlich) am Vorderende stattfindet und daß dann der körnige Plasmastrang in ähnlicher Weise dem zufließenden Nahrungsstrom entspricht, wie in den jugendlichen Eizellen mancher Insekten (z. B. Dytiscus), in denen grobkörniges Plasma von dem Nährfach aus gegen den Eikern vordringt. Durch diese Annahme würden auch die große Variabilität der Form des Plasmastranges und die häufige Zerschlitzung seines inneren Endes ihre einfachste Erklärung finden. Möglich, daß auch die bisher nur als Haftorganellen gedeuteten Hakenbildungen der Astomen nebenbei noch eine nutritive Bedeutung haben, indem sie durch Ver-

Fig. 296. *Intoshellina maupasi* CÉP. Der dreispitzige Hafthaken am Vorderende ist ähnlich wie in Fig. 275 schwarz gezeichnet (vgl. auch Fig. 277). *n* Kern (ein Mikronucleus ist nicht vorhanden), *p* körniger Plasmastrang. Vergr. 315 : 1. Nach CÉPEDE 1910.

letzung des Epithels des Wirtes dessen Körpersäfte den Parasiten zugänglich machen.

2. Bei den **Heterotrichen** ist der im Dienst der Nahrungszufuhr stehende Organellenapparat sehr gut ausgebildet. Stets findet sich am Rande des Peristomfeldes eine adorale Zone von Membranellen (vgl. S. 239). Die Ausgestaltung im einzelnen wollen wir an Hand einiger Beispiele betrachten.

Als Beispiel für relativ einfache Verhältnisse möge *Balantidium* dienen, bei dem ein spaltförmiges Peristom von einem verbreiterten Vorderende aus nach hinten zu spitz zuläuft und an seinem rechten Rande mit einer Membranellenzone besetzt ist. Es kann schnappende Bewegungen ausführen, in deren Interesse es offenbar auch steht, wenn sich bei manchen Arten der linke Rand, seltener beide Ränder des Peristoms in dünne Falten verlängern (besonders stark bei *Bal. helenae* BEZZENBERGER 1904).

Bei *Nyctotherus* findet sich dem gegenüber insofern ein Fortschritt, als die sehr kräftige Membranellenzone sich von dem nur schwach ausgeprägten, langgestreckten Peristom aus in den (bei den meisten Arten recht langen) Cytopharynx hinein bis an dessen inneres Ende fortsetzt (Fig. 312).

Bursaria hat ein riesig entwickeltes Peristom in Form einer tiefen Tasche (Fig. 297 und 298), die am querabgestutzten Vorderende

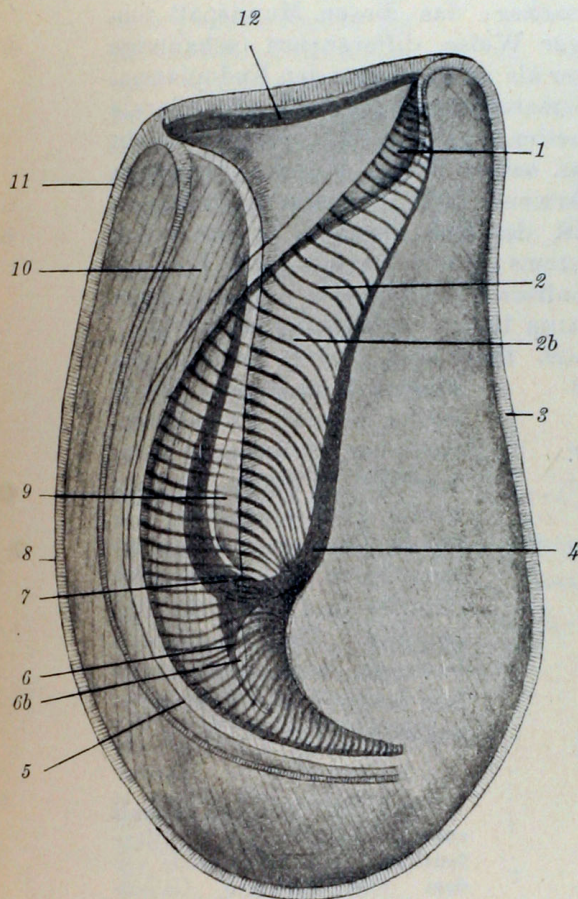


Fig. 297.

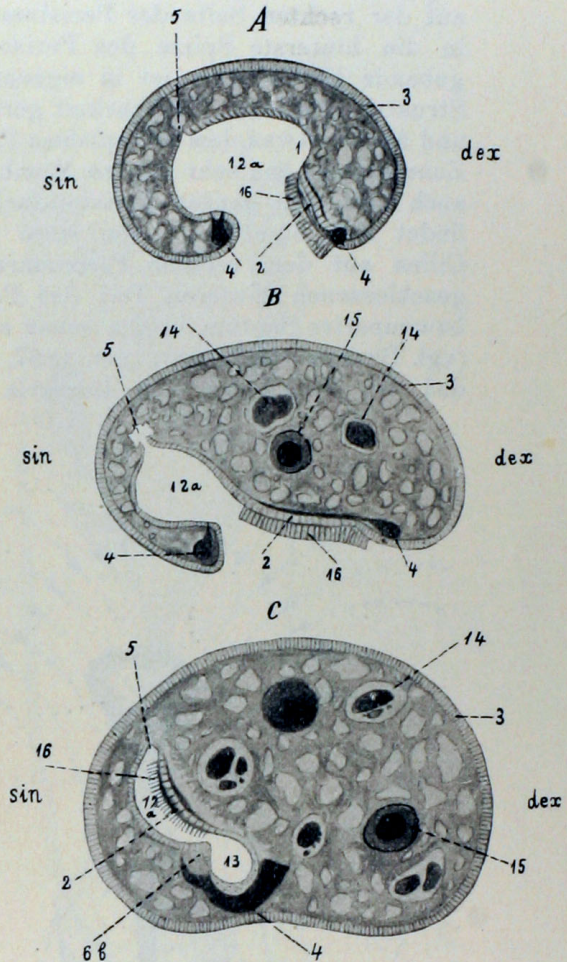


Fig. 298.

Fig. 297. *Bursaria truncatella* MÜLL. (Länge bis 1,5 mm. Süßwasser.) Tier von der Ventralseite. Die Wimpern der Körperoberfläche sind nicht dargestellt, Kern und Inhaltkörper gleichfalls weggelassen, ebenso die Streifungen der inneren Teile. 1 Ausbuchtung der Peristomhöhle am Vorderende, 2 Peristomstreifen, auf denen die Membranellen stehen, 2b Peristom, 3 Ektoplasma, 4 Peristomband, 5 Mundspalte, 6 hinterer Fortsatz des Peristombandes, 6b Septum, 7 Peristomwinkel, 8 Ektoplasma, 9 rechter Peristomrand, 10 Peristomplatte, 11 Ektoplasma, 12 Querband. Nach SCHUBERG 1887.

Fig. 298. **Drei Querschnitte durch *Bursaria truncatella* MÜLL.** A Durch den vorderen Körperteil in der Höhe der Ziffer 11 in Fig. 297. B Weiter hinten, etwa am Ende des ersten Körperdrittels. C Durch den hinteren Körperteil, etwas hinter der Ziffer 8 in Fig. 297. dex rechte, sin linke Körperseite. Die Bezeichnungen haben die gleiche Bedeutung wie in Fig. 297. Außerdem: 12a Peristomhöhle, 13 Septalraum, 14 Nahrungsvakuolen, 15 Kern, 16 Membranelle der adoralen Zone, schematisch eingezeichnet, auf einem Peristomstreifen sich erhebend. Nach SCHUBERG 1887.

des eiförmigen, dorsoventral etwas abgeplatteten, bis 0,9 mm langen und 0,45 mm breiten Körpers mit weiter Oeffnung beginnt und sich von hier tief in den Körper hinein und weit nach hinten erstreckt. Die vorn breite Mündung zieht auf der Bauchseite, allmählich schmaler werdend, nach hinten, um sich vor dem Beginn des letzten Körperdrittels zu schließen; das Peristom aber setzt sich von hier aus als geschlossener trichterförmiger Sack noch weiter in den Körper hinein fort, indem es zugleich nach links umbiegt. Das Cytostom ist ein langer Spalt, der auf der rechten Seite der Peristomwand von vorn nach hinten zieht, bis in die hinterste Spitze des Peristomsackes; das diesen Mundspalt umgebende Endoplasma ist in eigenartiger Weise differenziert (schaumige Struktur deutlicher, Färbbarkeit geringer als im angrenzenden Endoplasma) und ähnelt etwas dem Ektoplasma („Stomatoplasma“ MAIERS). Die adorale Zone besteht aus sehr breiten Membranellen (vgl. Fig. 242) und durchzieht auch noch den ganzen Peristomsack an seiner linken Wand. Außerdem findet sich eine Reihe von stets paarweise dicht beisammen stehenden Cilien auf dem rechten Peristomrande, der sich ebenfalls in den völlig geschlossenen hinteren Teil des Peristoms hinein fortsetzt, um hier als bewimpertes Septum in die sonst cilienfreie Peristomhöhle vorzuspringen (vgl. BRAUER 1886, SCHUBERG 1887, MAIER 1902). — Beiläufig sei erwähnt, daß die Nahrung von Bursaria nach PROWAZEK (1899) besteht aus

kleinen Paramäcien, Vorticellen, Stentor, Flagellaten, Euglenen, Chilomonas paramecium, Phacus, Synura uvella, Protococcaceen, Navicula, Diatoma u. a. EHRENBURG hatte auch Rotatorien (Rotifer und Philodina) angegeben. Die Flagellaten bewegen sich noch ziemlich lange in den Nahrungsvakuolen (vgl. S. 303).

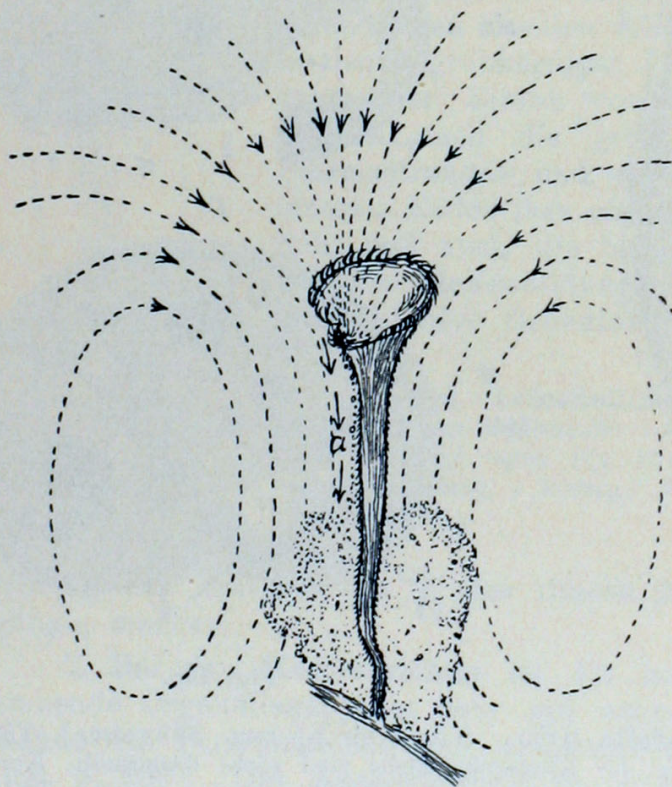
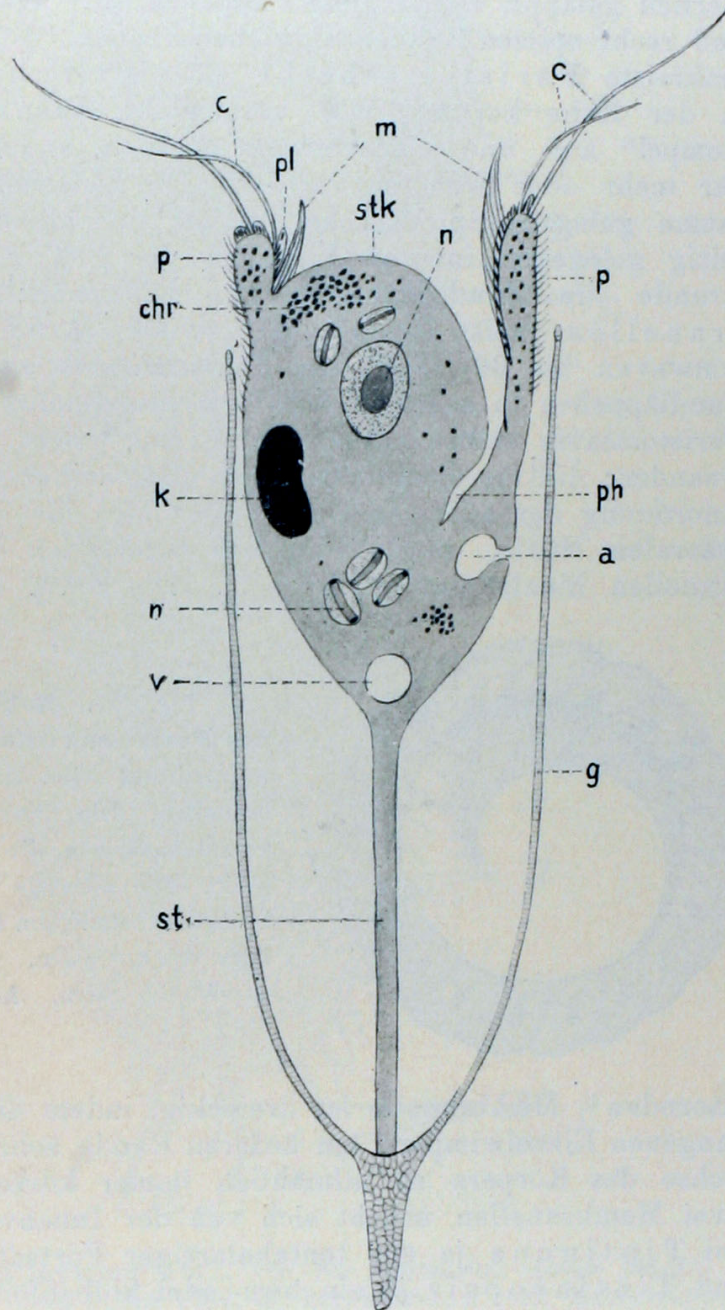


Fig. 299. **Stentor roeseli** auf einer fadenförmigen Unterlage festsitzend und das Fußende von dem unregelmäßigen Gallertgehäuse umschlossen, mit Darstellung der Strömungen in dem umgebenden Wasser, die durch die Bewegungen der Membranellen und Wimpern hervorgerufen werden. Nach JENNINGS 1910.

Stentor (Fig. 299) ist ein klassisches Beispiel für schöne Ausbildung der adoralen Zone. Sein Körper ist keulen- bis kegelförmig und wird ansehnlich groß (Stentor polymorphus ist im ausgestreckten Zustande über 1 mm lang). Man stelle sich nun vor, die frei vorragende Basis des Kegels sei wie von einer normal (d. h. rechts) gewundenen Haliotis-schale (solche finden sich ja in jeder Conchyliensammlung) eingedrückt, und zwar mit ihrer (dorsalen) Außenseite, so bekommt man eine ziemlich exakte Vorstellung von der Gestaltung dieser Gegend. Die helicoid aus-

gehöhlte Basis (etwas mehr als ein Umgang) wird als Stirnfeld bezeichnet und ist wie die übrige Körperfläche mit Cilien besetzt, deren parallele Reihen (vgl. neben Fig. 299 auch Fig. 62 und 243) ungefähr wie die Längsrippen der Haliotisschale verlaufen. Der helicoid in die Tiefe tauchende Apex, der die Fortsetzung des helicoiden Stirnfeldes ist, stellt das eigentliche Peristom dar, in dessen tiefstem apikalen Grunde erst das Cytostom liegt. Die von langen aber schmalen Membranellen (vgl. Fig. 243) gebildete adorale Zone folgt dem ganzen Rande des helicoiden Stirnfeldes und setzt sich auch in das enge Peristom fort. Die Membranellen führen nach PROWAZEK (1900) bei 18° C je ca. 70 Schläge pro Minute aus. Für weitere Einzelheiten vgl. SCHUBERG (1890), H. P. JOHNSON (1893) und MAIER (1902).

Fig. 300. **Cittarocyclis ehrenbergii** (CL. u. L.). Aus mehreren Schnitten kombinierter sagittaler Längsschnitt durch das Tier und das Gehäuse. *a* Zellafter, *c* durch Zerfaserung der Membranellen von diesen abgetrennte Cilien, *chr* Chromatinschollen im Endoplasma, *g* Gehäuse, hinten in eine dornartige Spitze auslaufend, *k* Makronucleus, *m* innerer, noch zusammenhängender Teil der adoralen Membranellen, *n* Nahrungsballen, *p* kragenförmiger Peristomsaum, *ph* Cytopharynx, *pl* zwischen den Membranellen stehende „Deckplättchen“, *st* Stiel, mit dem das Tier im Gehäuse festsetzt, *stk* Stirnkuppe, *v* pulsierende Vakuole. Nach ENTZ 1909.



Folliculina (Fig. 167) ist ein Stentor ähnliches Infusor, bei dem der die adoralen Membranellenzone tragende Rand des Stirnfeldes seitlich in zwei lange flügelartige Fortsätze ausgewachsen ist.

Besonders kompliziert sind die Ernährungsorganellen bei den Tintinnoiden, planktonischen, gehäusetragenden Infusorien, deren hastiges Vorwärtsschwimmen nur durch die adoralen Membranellenzone bewirkt wird, die also hier neben ihrer nutritiven auch noch eine sehr ausgeprägte lokomotorische Funktion hat (vgl. Fig. 300). Das Peristom-

oder Stirnfeld nimmt die ganze quer abgestutzte Vorderfläche des kegelförmigen Körpers ein. Sein Rand, der Peristomsaum (Fig. 300 p), ist zu einem ringwallartigen Kragen erhoben, der durch etwas andere Struktur (bedeutend feinere Granulierung) sich deutlich von dem übrigen Körper abhebt, obwohl seine äußere Wand von der Außenwand des Körpers entweder gar nicht, oder bloß durch eine äußerst schwache Ringfurche abgegrenzt ist. Der freie Rand des Peristomsaumes ist stets zierlich gelappt, wobei diese Lappchen sich häufig zu schwach gebogenen und recht spitzen Zähnen ausziehen können. Die von dem Peristomsaume umkreiste Peristomscheibe oder Stirnkuppe (Fig. 300, *stk*) ist in der Ruhe kuppenförmig vorgewölbt, kann aber „wie ein Pumpenstempel“ auf- und niederbewegt werden, indem sie sich abflacht oder gar mehr oder weniger vertieft. Die zwischen ihr und dem Peristomsaume gelegene Spiralfurche vertieft sich allmählich nach ihrem rechtsseitig gelegenen inneren Ende zu der präoralen Höhle, in deren Grunde die Mundöffnung liegt. Die mächtigen adoralen Membranellen (meist 16—18, bei gewissen Arten jedoch auch mehr, nach SCHWEYER bis 36) sind dem Peristomsaum zwischen je zweien seiner Randlappchen in schräger Richtung eingepflanzt und schließen sich, dem Peristomsaum selbst entsprechend, zu einem vollständigen Kreise aneinander; die für die Infusorien im allgemeinen charakteristische spiralförmige Anordnung der adoralen Zone äußert sich fast nur noch im Bereich der präoralen Höhle, in die die hier allmählich länger werdenden Membranellen hinabsteigen (Fig. 301). Die Form der einzelnen leicht zer-

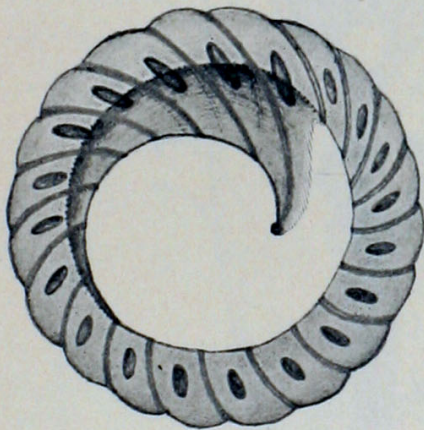


Fig. 301. **Schematische Scheitelansicht des Peristoms von Tintinnopsis.** Die radiären Doppellinien sind die Insertionsstellen der Membranellen. Die dunklen Ovale zwischen denselben veranschaulichen die Lage der kolbenförmigen Gebilde. Die präorale Höhle ist dunkler schattiert; in ihrem Grunde, am Ende der längsten Membranelle, liegt das Cytostom. Das mittlere weiße Feld entspricht der Stirn. Aus SCHWEYER (1910).

fasernden¹⁾ Membranelle ist dreieckig, indem die in ihre Bildung eingegangenen Einzelwimpern am äußeren Rande sehr lang sind und nach der Achse des Körpers zu allmählich immer kürzer werden. Zwischen je zwei Membranellen erhebt sich von der Innenwand des Peristomsaumes bei *Tintinnus* je ein tentakelartiger Fortsatz, dem bei *Codonella* und *Tintinnopsis* je ein birn- oder kolbenförmiges Gebilde entspricht; vielleicht handelt es sich hierbei, einer Vermutung von HAECKEL (1873) entsprechend, um Tastorganellen. Hinsichtlich aller weiteren Einzelheiten vgl. FAURÉ-FREMIET (1908), ENTZ jun. (1909) und SCHWEYER (1910).

Während bei den Tintinnoideen das ganze Tier sich in sein Gehäuse zurückziehen und hierdurch seinen empfindlichen Membranellenapparat schützen kann, vermögen die Ophryoscoleciden, bezüglich deren im

1) Durch eine derartige Zerfaserung der einzelnen Membranellen, wie sie z. B. auch in Fig. 300 dargestellt ist, kann bei den Tintinnoideen der Anschein eines mehrfachen Wimperkranzes vorgetäuscht werden, so daß auch noch in neueren Arbeiten von „adoralen“, „mesoralen“ und „paroralen“ Wimpern gesprochen wird.

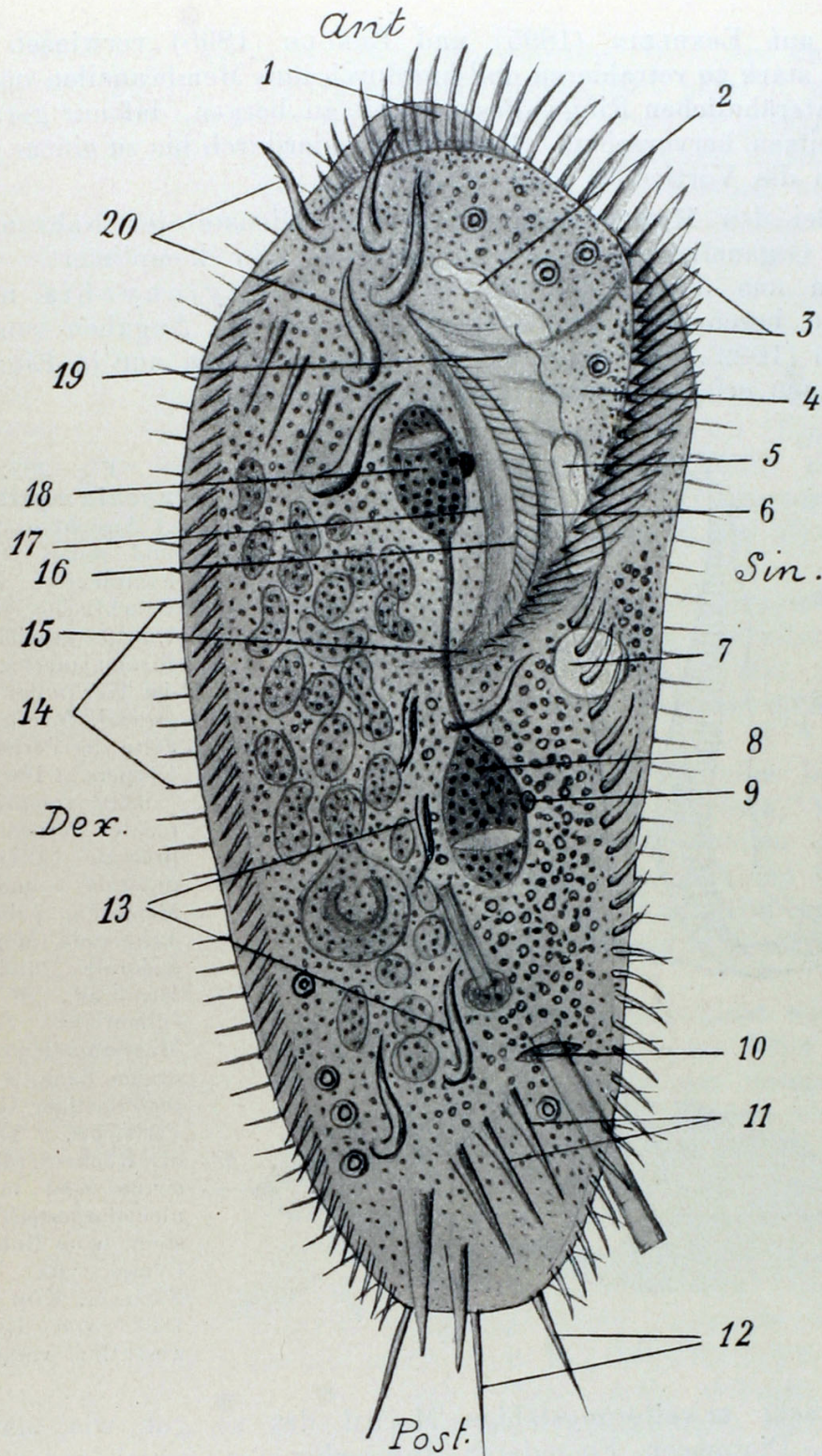


Fig. 302. **Stylonychia mytilus** MÜLL. von der Bauchseite. Länge bis 375 μ . Von LANG kombinierte Figur, nach STEIN 1859, M. KOWALEWSKY 1882, BÜTSCHLI und SCHEWIAKOFF (in LEUCKARTS zoolog. Wandtafeln). 1 Am Vorderende sich vor das Peristom vorwölbende Oberlippe, 2 zuführender Kanal der pulsierenden Vakuole, 3 adorale Membranellenzonen, 4 Peristom, 5 zuführender Kanal der pulsierenden Vakuole, 6 rechter vorspringender Peristomrand, 7 pulsierende Vakuole, 8 hintere Hälfte des Großkerns, 9 hinterer Kleinkern, 10 Cytopyge (Zellafter), auf dem Rücken gelegen, eben im Begriff, eine Bacillariacee zu entleeren, 11 Aftercirren (Springborsten), 12 Schwanzborsten, 13 Bauchcirren (hintere Laufcirren), 14 Tastborsten (von der Rückenfläche entspringend und den Seitenrand überragend), 15 Cytostom (Zellmund), 16 präorale Cilienreihe, 17 rechtsseitiger Grund des Peristoms, 18 vordere Hälfte des Großkerns, 19 präorale undulierende Membran, 20 Stirncirren (vordere Laufcirren). Dem rechten und linken Körperende entlang je eine Reihe von Randcirren. Im Innern des Körpers aufgenommene Nahrung. Der Organellenkomplex des Peristoms nur teilweise dargestellt (endorale Cilien und endorale undulierende Membran fortgelassen, vgl. Fig. 303). Ant. vorn, Dex. rechts, Post. hinten, Sin. links.

übrigen auf EBERLEIN (1895) und BUNDLE (1895) verwiesen sei, ihr Peristom stark zu retrahieren und hierdurch ihre Membranellen im Inneren eines kraterähnlichen Ringwalles so weit zu bergen, daß nur gerade noch deren Spitzen hervorsehen. Sie erinnern hierdurch bis zu einem gewissen Grade an die Vorticellen (vgl. S. 297).

3. Bei den **Hypotrichen** ist der im Dienste der Nahrungszufuhr stehende Organellenapparat im allgemeinen sehr kompliziert. Wir beschränken uns darauf, ihn für eine Form, *Stylonychia mytilus* MÜLL., zu beschreiben, im wesentlichen nach den Angaben von M. KOWALEWSKI (1882), die durch einige neuere Arbeiten nur in Einzelheiten Ergänzungen erfahren haben (vgl. Fig. 302 u. 303).

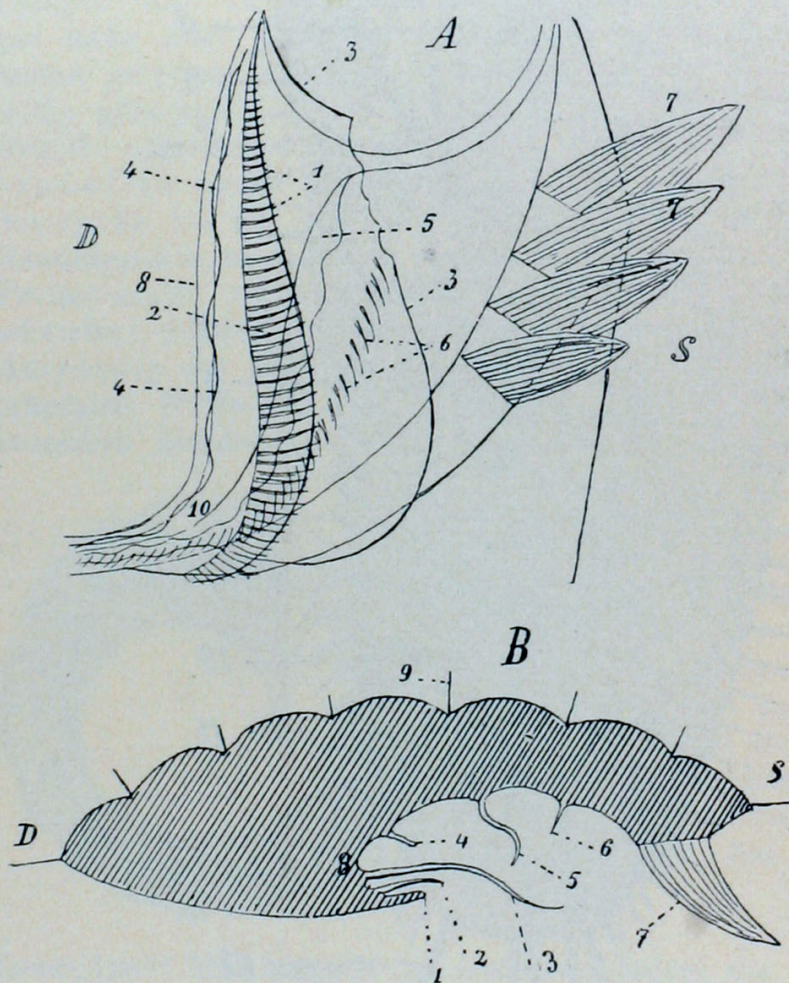


Fig. 303. **Stylonychia mytilus** MÜLL.
A Ansicht des Peristoms und seines Organellenkomplexes von der Bauchfläche (nur im Umriß gezeichnet). **B** Idealer Querschnitt durch das Tier in der Peristomgegend. **D** rechte, **S** linke Seite des Peristoms bzw. Körpers. 1 Der lamellenartig vorspringende rechte Peristomrand, 2 präorale Cilienreihe, 3 präorale undulierende Membran, 4 innere undulierende Membran, 5 endorale undulierende Membran, 6 endorale Cilienreihe, 7 einzelne Membranellen der adoralen Zone, 8 innerster rechtsseitiger Grund des Peristoms, 9 Tastborsten des Rückens (die Bauchcirren sind in Fig. **B** nicht dargestellt), 10 Cytostom, nach links in den Cytopharynx führend. Nach M. KOWALEWSKY 1882, von LANG unwesentlich verändert.

Der sehr erweiterungsfähige Mund des so gut wie omnivoren (Bakterien, Diatomeen, Flagellaten, Infusorien u. a. verzehrenden) Tieres (Fig. 302, 15) liegt nahezu in der Mitte der Bauchfläche des dorsoventral abgeflachten Körpers. Vor ihm ist die Bauchfläche vertieft zu einem Peristom (Fig. 302, 4) von der Form eines spitzwinkligen Dreiecks, dessen Spitze beim Munde liegt und dessen Basis nach vorn und links gewandt ist. Es hat einen lateralen oder linken und einen medianen oder rechten Rand. Der auffälligste Apparat auf dem Peristom ist die adorale Zone, eine Reihe kräftiger dreieckiger Membranellen (Fig. 302, 3 und Fig. 303, 7). Sie beginnt rechts am vorderen Körperende, zieht diesem entlang nach links und folgt dann im Bogen dem linken Peristomrand bis zum Munde. Der gegenüberliegende rechte Peristomrand (Fig. 302, 6 und Fig. 303, 1) wölbt sich mit einer

scharfen Kante oder Schneide gegen das Peristom vor. Auf der Dorsalfläche dieser Schneide entspringt, ihrem freien Rand parallel, eine stark entwickelte präorale undulierende Membran (Fig. 302, 19 und Fig. 303, 3), die nach MAIER (1902) von einer einzigen Cilienreihe gebildet wird und deren hinteres Ende sich in den Schlund hinein fortsetzt. Dieser präoralen Membran parallel und ventral von ihr steht eine Reihe dünner langer präoraler Cilien (Fig. 302, 16 und Fig. 303, 2), die ebenso wie die präorale Membran nach links in das Peristom vorspringen. Mehr dorsal liegt eine zweite, schmalere, die sogenannte innere undulierende Membran (Fig. 303, 4), und links von dieser, aber immer noch in der rechten Hälfte des Peristoms, verläuft eine dritte, die endorale undulierende Membran (Fig. 303, 5); ungefähr in der Mitte des Peristomfeldes zieht schließlich eine Reihe von kurzen endoralen Cilien (Fig. 303, 6) von vorn nach hinten, die sich ebenso wie die undulierenden Membranen in den Cytopharynx hinein fortsetzt.

Bezüglich der Ernährungsorganellen anderer Hypotrichen sei nur noch auf die Mächtigkeit der Membranellen bei dem sich festheftenden *Ancistropodium maupasi* hingewiesen. Sie werden hier (bei einer Länge des ganzen Tieres von 110 μ) bis 25 μ lang bei einer basalen Breite von 10 μ (vgl. Fig. 270).

4. Bei den **Peritrichen** weisen die Ernährungsorganellen bemerkenswerte Verschiedenheiten auf. Während gewisse Formen, vor allem *Licnophora*, durch den Besitz einer von Membranellen gebildeten adoralen Zone noch weitgehende Uebereinstimmung mit den bisher besprochenen Infusorien zeigen (vgl. S. 214 und Fig. 216), finden sich einerseits bei Vorticelliden, andererseits bei Spirochoniden zwei verschiedenartige einseitige Differenzierungen.

Bei den Vorticelliden ist die adorale Spirale nicht wie bei den bisher betrachteten Infusorien „linksgewunden“, d. h. sie führt nicht bei direkter Aufsicht von außen in einem dem Uhrzeiger entsprechenden Verlaufe (vgl. z. B. Fig. 301 und 302) zum Cytostom, sondern sie zieht in umgekehrter Richtung („rechtsgewunden“) zu diesem hin (Fig. 63 und 304, B). Ferner wird sie nicht wie bei allen anderen genauer untersuchten Infusorien von einer einfachen Reihe von Membranellen gebildet, sondern von 2 undulierenden Membranen (MAIER 1903, SCHRÖDR 1907), welche dicht nebeneinander in parallelem Verlaufe das nahezu kreisrunde scheibenförmige Peristom umziehen. Stets beschreibt die Spirale etwas mehr als einen ganzen Umgang (vgl. Fig. 63), bei *Campanella umbellaria* beschreibt sie sogar deren nicht weniger wie $4\frac{1}{2}$ (Fig. 304, B). Jede der beiden undulierenden Membranen wird von drei miteinander verschmolzenen Cilienreihen gebildet und ist an ihrem freien Ende zerfasert, so daß hierdurch der Aufbau der Spirale aus 2 Reihen einzelner Cilien oder Membranellen vorgetäuscht werden kann. Rings um das Peristom mit seiner adoralen Spirale erhebt sich der Körper zu einem Ringwulst, dem Peristomsaum, der von der Peristomscheibe durch eine grabenartige Ringfurche getrennt ist. Wenn sich das früher (S. 248) besprochene Ringmyonem des Peristomsaumes gleichzeitig mit den als Retractor der Peristomscheibe dienenden Längsmyonemen der Vorticellide kontrahiert, so wird der Peristomsaum wie ein Tabaksbeutel über der zurücktretenden Scheibe zusammengezogen und verdeckt dann die adorale Spirale vollständig (vgl. Fig. 254, wo diese Kontraktion noch nicht ihren Höhepunkt erreicht hat). Der Ringgraben zwischen Peristom-

scheibe und Peristomsaum vertieft sich dem Verlaufe der adoralen Spirale entsprechend bis zu deren Ende, um dort in das Vestibulum

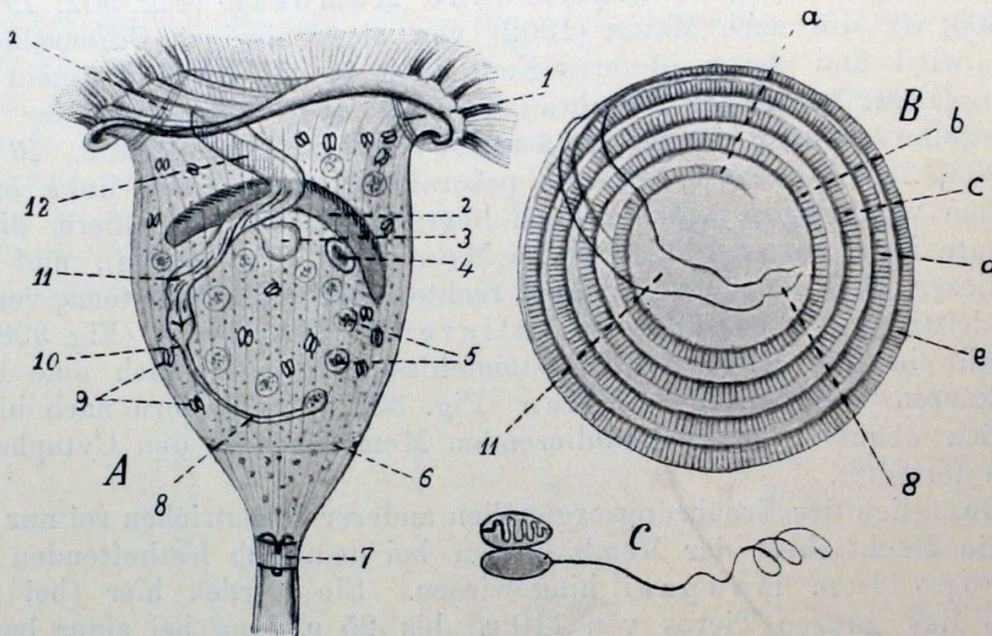


Fig. 304. **Campanella umbellaria** (L.). Süßwasser. **A** Individuum einer Kolonie mit voll entfaltetem Peristom (Länge bis 140 μ , Höhe der Kolonien bis 4 mm), von der Vestibularseite. **B** Ansicht auf die Peristomscheibe, schematisch, um den Verlauf der Windungen *abcde* der adoralen Wimperspirale zu zeigen. **C** Ein isoliertes Paar von Nesselkapseln; die eine im nicht explodierten Zustande mit dem schraubig aufgerollten Faden im Innern, die andere mit ausgeschnelltem Faden. Stärker vergrößert. Nach BÜTSCHLI 1889. 1 Die zur Retraktion des Peristoms dienenden Myoneme, 2 Makronucleus, 3 pulsierende Vakuole, 4 Mikronucleus, 5 Nahrungsvakuolen, 6 ringförmige Linie, an welcher bei der Ablösung vom Stiel der hintere Wimperkranz entsteht (vgl. Fig. 63 und 64), 7 Stelle, wo die Ablösung erfolgt, 8 der hier sehr lange und deutliche Cytopharynx, 9 Paare von Nesselkapseln, 10 Cytostom, 11 Vestibulum, 12 in dieses hinabsteigende undulierende Membran.

überzugehen, eine tiefe Einsenkung in den Körper hinein, in die sich auch die beiden Membranellen der adoralen Spirale fortsetzen (vgl. Fig. 63).

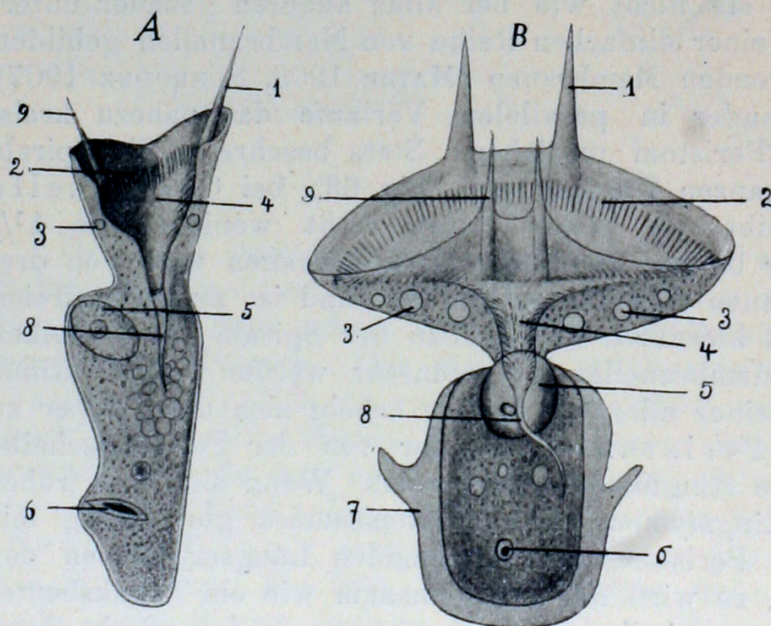


Fig. 305. **Spirochona nebalina** S. K. Von den Kiemenanhängen von Nebalia. Länge 0,04 mm. **A** Medianschnitt, von der rechten Seite betrachtet. **B** Dorsalan-sicht. 1 Ventrale hyaline Stacheln, 2 Wimperkranz an der Innenseite des Peristomtrichters, 3 Vakuolen, 4 Grund des Peristomtrichters, 5 Makronucleus, 6 Mikronucleus, 7 Gallertabscheidung, 8 Cytopharynx, 9 dorsale Stacheln. Nach ROMPEL 1894.

Erst im Grunde dieses Vestibulums liegt das Cytostom, das in einen kurzen, etwa birnförmigen Cytopharynx führt. Etwas weiter vorn münden

in das Vestibulum auch Cytopyge und kontraktile Vakuole (vgl. unten Defäkations- und Exkretionsorganellen).

Bei *Spirochona*, die als Raumparasit auf den Extremitäten, namentlich den Kiemenanhängen, von Krustern festsitzt, ist der Peristomsaum zu einem großen trichterartigen Organ vorgewachsen, dem sogenannten Peristomtrichter, der infolge verschiedenartiger Faltung sehr mannig-

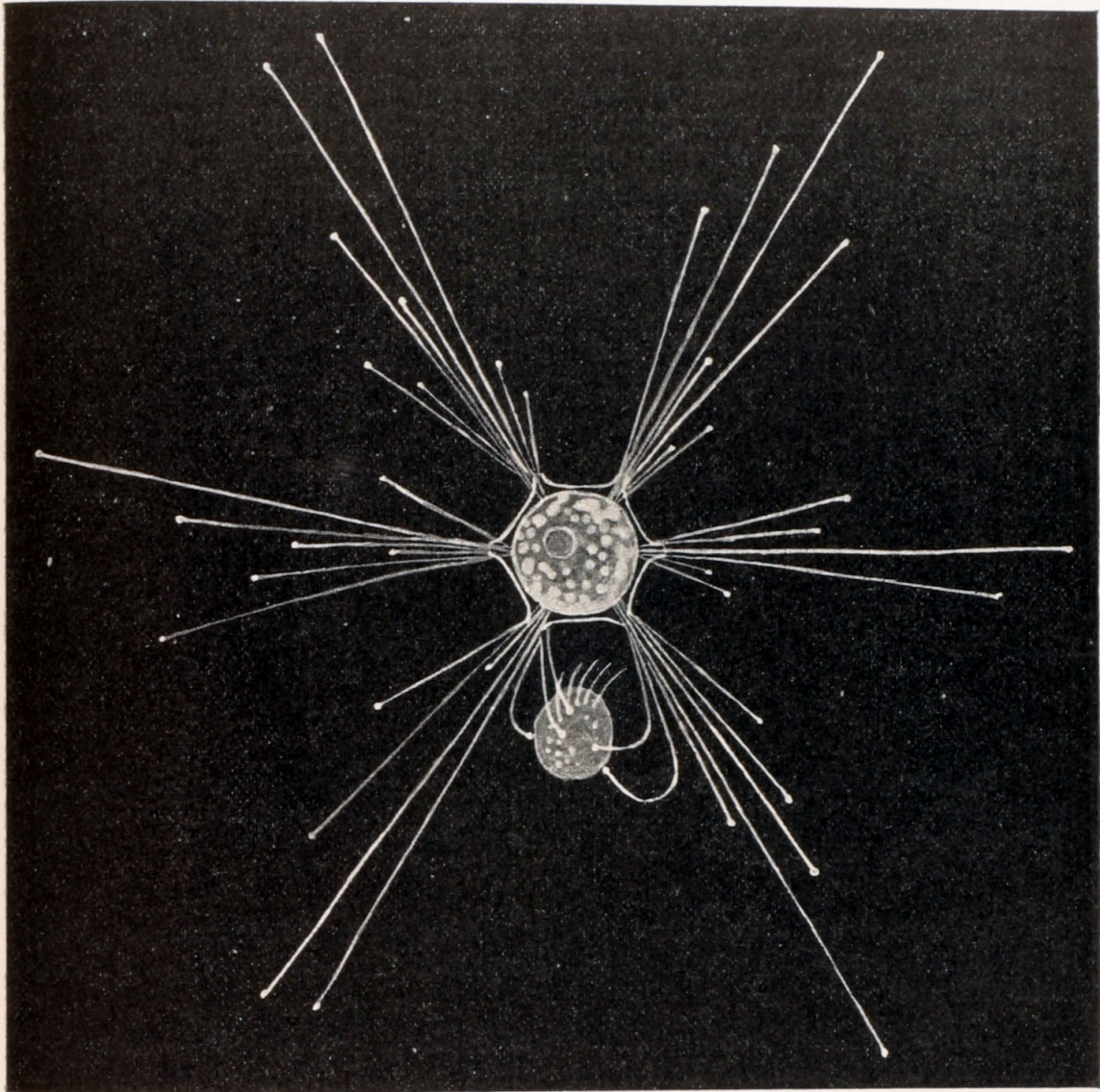


Fig. 306. **Polansicht eines Suctors**, von dem Stielende aus gesehen, der Zellkörper selbst im optischen Querschnitt. Nach dem Leben. Das Tier ist damit beschäftigt, ein Wimperinfusor auszusaugen. Die Saugtentakel in 6 Gruppen und innerhalb jeder Gruppe fächerartig angeordnet; die Ebene der Fächer steht annähernd senkrecht zur Ebene der Zeichnung. Vergr. ca. 330 (Durchmesser des Zellkörpers 40 μ , Länge der Tentakel bis ca. 150 μ). Aus HEIDENHAIN (1911).

faltige Gestalt annehmen kann. Häufig ist die Membran dieses Trichters durch kräftige, bewegungslose Borsten versteift, von denen bei *Spirochona nebalina* in der Regel 2 vorhanden sind (Fig. 305, 1). Die Innenfläche des Trichters ist mit dichtstehenden feinen Cilien besetzt; bei der von uns als Beispiel gewählten *Spirochona nebalina* wird dieses bewimperte Feld nach vorn begrenzt von einem dicht unter dem Rande des Trichters

stehenden einfachen Kranze längerer und stärkerer Cilien (Fig. 305, 2). Sonst sind am Körper keine Cilien vorhanden. Das Cytostom liegt im Grunde des Trichters. Die schwache Entwicklung des Wimperapparates trotz der festsitzenden Lebensweise steht offenbar damit in Zusammenhang, daß an dem Wohnsitz der Tiere durch die Kiemenanhänge des Wirtes ein dauernder Wasserstrudel unterhalten wird.

5. Die Ernährungsorganellen der **Sauginfusorien (Suctoria)** sind deren sogenannte Saugröhrchen, auch einfach Tentakel genannt. Es sind dies fadenförmige, langsam bewegliche Fortsätze des Körpers, deren Länge im allgemeinen dem Körperdurchmesser wenigstens nahe kommt. Bei einigen Arten ist nur ein einziges Saugröhrchen vorhanden; meist aber sind sie zahlreich und dann bald unregelmäßig und allseitig zerstreut, bald auf den vorderen Körperteil beschränkt. Häufig stehen

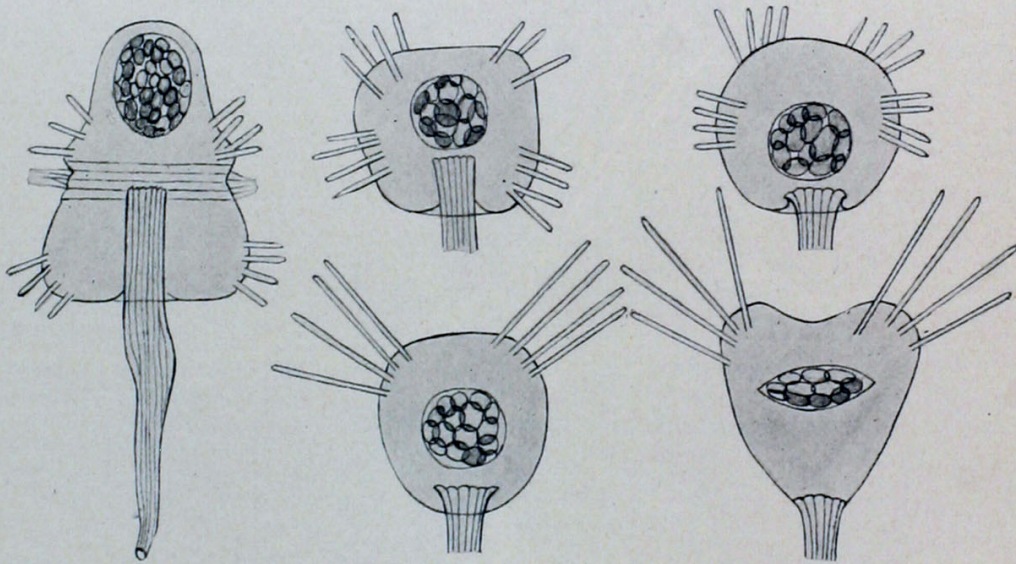


Fig. 307. **Tocophrya quadripartita** CL. u. L. Entwicklung der in 4 Gruppen angeordneten Saugröhrchen bei der festgehefteten Larve unter teilweiser Umstülpung des Körpers. (Vgl. auch die jüngeren Larven in Fig. 271 und das ausgebildete Tier in Fig. 67.) Nach FILIPJEV 1911.

sie gruppenweise beisammen auf je einem mehr oder weniger deutlich vortretenden lappenförmigen Vorsprung des Körpers (vgl. Fig. 67 und 306).

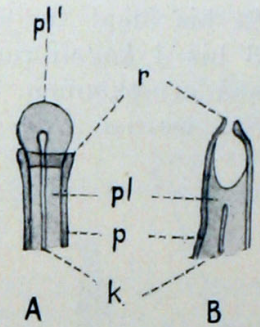
„Morphologisch könnte man daran denken, den einfachen Saugtentakel aus der besonderen Umbildung eines ursprünglichen Cytostoms herzuleiten, und eine sukzessive Vermehrung solcher Cytostombildungen annehmen.“ (BÜTSCHLI 1910).

Nach der Form der Saugröhren hat man unterschieden Saugtentakel (zylindrisch, am Ende meist geknöpft) und Greiftentakel (ungeknöpft, gegen das freie Ende sich verjüngend, von sehr verschiedener Länge, oft bedeutend länger als die Saugtentakel, die mit ihnen zusammen vorkommen können, z. B. bei *Ephelota*, Fig. 343). Doch ist diese Unterscheidung nicht von wesentlicher Bedeutung.

Jede Saugröhre besteht aus: 1) einer oberflächlichen Pellicula, der Fortsetzung der Pellicula des Körpers, 2) einer Schicht kontraktilem Protoplasmas und 3) dem Zentralkanal. Bei *Tocophrya quadripartita* CL. & L., deren Saugtentakel wir auf Grund der neueren Untersuchungen von FILIPJEV (1911) als Beispiel betrachten wollen, ist die von

der Pellicula gebildete Röhre am Ende etwas erweitert, wobei sie einen verdickten Rand bildet und das Ende des Tentakels offen läßt (Fig. 308, *r*). Dieser ringförmige Rand ist passiv elastisch: das den größten Teil des Tentakelquerschnittes einnehmende kontraktile Plasma kann sich aus ihm in Form einer Plasmakugel verwölben und dehnt ihn hierbei aus (Fig. 308, *A*). Zieht sich das Plasma wieder zurück, so zieht sich der Ring zusammen und schließt den Eingang in den Tentakel (Fig. 308, *B*). Der keine eigene Wandung besitzende und die ganze Länge des Tentakels durchsetzende Zentralkanal ist mit einer wäßrigen Flüssigkeit erfüllt.

Fig. 308. **Tocophrya quadripartita** CL. u. L. Ende eines Saugtentakels, in *A* mit vorgestrecktem, in *B* mit zurückgezogenem Plasma. *k* zentraler Längskanal, *p* Pellicula, *pl* Plasma, *pl'* am Tentakelende nackt vorgetretener Plasmapropf, *r* elastische ringförmige Verdickung der Pellicula am Tentakelende. Nach FILIPJEV 1911.



Das an der Spitze vortretende Plasma ist höchst wahrscheinlich klebrig, da vorüberschwimmende Cilien u. dgl. bei Berührung sofort an ihm haften bleiben. Ob die Tentakel auch lähmende Stoffe enthalten,

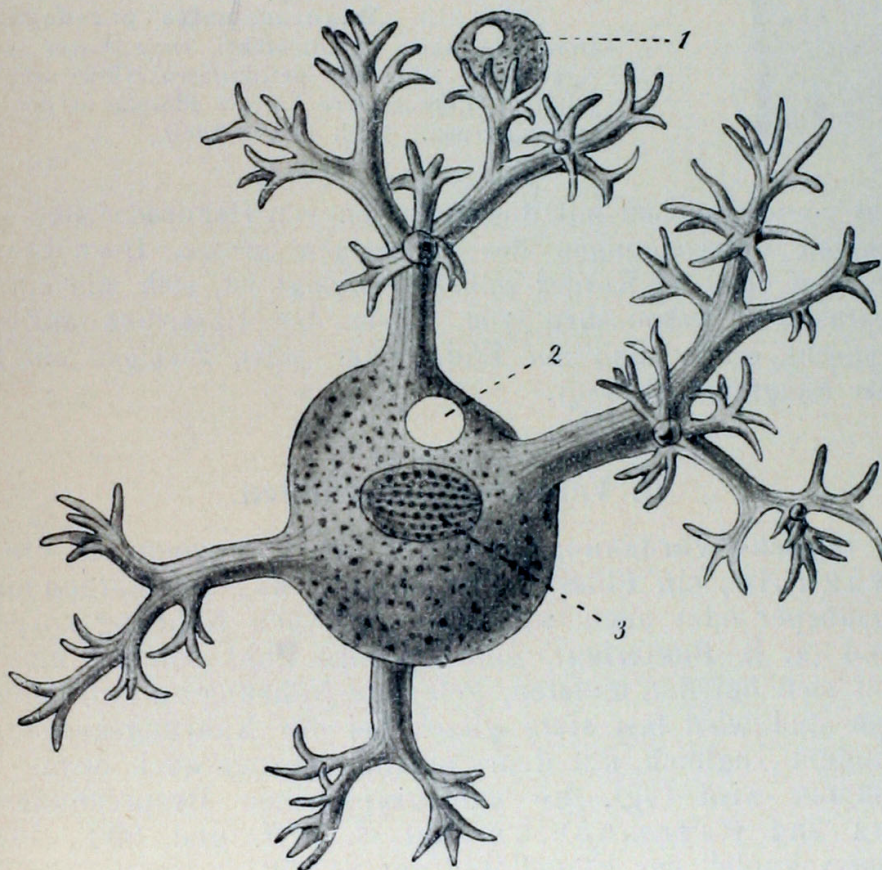
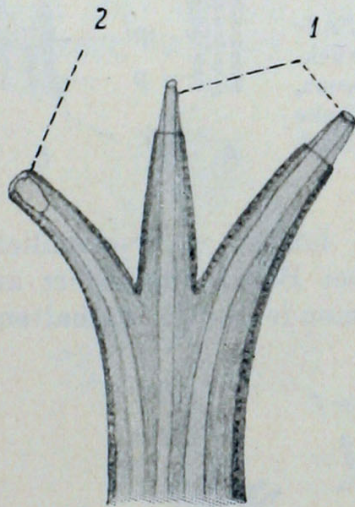


Fig. 309. **Dendrocometes paradoxus** STEIN. 1 ein gefangenes Infusor, 2 pulsierende Vakuole, 3 Kern. Nach A. WRZEŚNIEWSKI (1877), von LANG unwesentlich modifiziert. Vergr. 600 : 1.

weiß man nicht. Die Tentakel können langsam verkürzt und verlängert werden, die Richtung, in der sie vom Körper abstehen, verändern und sich krümmen. Bleibt ein Beuteobjekt an einem von ihnen kleben, so

neigen sich die benachbarten Tentakel heran, um es mit festzuhalten (Fig. 306), und dann sieht man wie das Plasma der Beute durch die hohlen Saugröhrchen hindurch in den Körper des Suctors hinüberströmt.

Spezielle Erwähnung verdienen noch die eigenartig ausgebildeten Saugröhrchen von *Dendrocometes*, einem auf den Kiemenblättchen von *Gammarus* lebenden Suctor (Fig. 309). Dessen Körper verlängert sich in meist 4 ansehnliche Fortsätze, Arme genannt, deren jeder sich 2- bis 3mal in je 3 Aeste teilt. An den Endzweigen stehen dann je 3 bis 4 kegelförmige Greiftentakel. Die Arme sind nicht völlig starr, sondern können ähnliche Bewegungen ausführen wie die Saugröhrchen. Sie werden von feinen Kanälchen durchzogen, von denen je eines zu



jedem Tentakel geht und sich in dessen Kanal fortsetzt (Fig. 310). Man könnte die Arme fast als ein System miteinander verschmolzener, sehr langer Saugröhrchen auffassen, die sich in ihrem zentrifugalen Verlaufe allmählich wieder voneinander freimachen, so daß am Ende ein jedes wieder isoliert ist. Näheres vornehmlich bei Plate (1886).

Fig. 310. *Dendrocometes paradoxus* STEIN. Drei Endzinken (Greiftentakel) eines Armes, sehr stark vergrößert. 1 aus der pellikularen Hülle nackt hervorgetretene Plasmaspitzen, bei 2 Plasma in die Pellicula zurückgezogen. Nach PLATE 1886.

Nicht zu vergleichen mit diesen Armen von *Dendrocometes* sind die baumförmigen Verzweigungen des prächtigen großen *Dendrosoma* (Fig. 145), bei dem der Körper selbst verzweigt ist, sich wie ein kleiner Wald verästelter Stämmchen von einem der Unterlage aufliegenden Wurzelgeflecht erhebt und am Ende eines jeden Zweiges ein Büschel geknöpfter Saugtentakel trägt.

B. Verdauungsorganellen.

Die typische Verdauungsorganelle der Protozoen ist die Nahrungsvakuole, ein Flüssigkeitsbläschen, das den aufgenommenen Nahrungskörper oder auch, wenn die einzelnen Nahrungskörper sehr klein sind (z. B. Bakterien), eine größere Zahl solcher umschließt. Sie findet sich bei den meisten, geformte Nahrung zu sich nehmenden Protozoen und wird fast stets gleich bei der Nahrungsaufnahme gebildet, indem zugleich mit dem Nahrungskörper auch etwas Wasser aufgenommen wird (vgl. die monographischen Besprechungen von *Amoeba* und *Paramaecium* auf S. 53 ff. und 99 f., sowie die „Empfangsvakuole“ der Flagellaten auf S. 279).

Es gibt aber auch Protozoen, bei denen eine Nahrungsvakuole fehlt und das Protoplasma direkt die aufgenommenen Nahrungskörper umschließt. Dies ist z. B. unter den Amöben bei *Amoeba blattae* der Fall. Auch den Foraminiferen fehlt die Nahrungsvakuole fast stets (vgl. z. B. Fig. 26); wo sie bei ihnen auftritt, ist sie erst nachträglich durch Abscheidung von Wasser aus dem Plasma in der Umgebung

des Nahrungskörpers gebildet, nachdem der zunächst direkt von den Pseudopodien umflossene Nahrungskörper in den Körper hineingezogen worden ist. Ebenso fehlt die Nahrungsvakuole den Radiolarien; speziell bei den Tripylarien scheinen statt ihrer, wie bereits in der monographischen Besprechung von Coelospathis ausgeführt wurde, die sogenannten Phäodellen eine ähnliche Rolle bei der Verdauung zu spielen (vgl. S. 76 f.).

Bei Protozoen mit osmotischer Ernährung kann eine echte Nahrungsvakuole natürlich nicht vorkommen. Wenn SCHAUDINN trotzdem bei *Plasmodium* von einer solchen gesprochen hat, so handelt es sich hier um eine einfache Flüssigkeitsansammlung, deren ernährungsphysiologische Bedeutung im wesentlichen auf der durch sie bedingten erheblichen Vergrößerung des Volumens und damit auch der resorbierenden Körperoberfläche des Parasiten beruhen dürfte (vgl. S. 129).

Erst innerhalb der Vakuole erfolgt die Abtötung der Opfer, falls lebende Organismen als Nahrung eingestrudelt wurden; bei *Stentor* u. a. kann man leicht beobachten, daß verschlungene Tiere sich noch längere Zeit im Inneren der Vakuole bewegen. Hinsichtlich der im Innern der Vakuolen sich unter Fermenteinwirkung abspielenden Verdauungsvorgänge kann hier auf die Besprechung auf S. 57 f. und 101 f. verwiesen werden.

Es sei nur allgemein betont, daß die Fähigkeit, Eiweißstoffe zu verdauen, bei den Protozoen allgemein verbreitet ist und daß diese durchweg die Hauptrolle bei der Ernährung spielen. Kohlehydrate (Stärke und Cellulose) scheinen sehr viel schwerer verdaulich zu sein und dürften nur bei einzelnen Arten eine größere Bedeutung als Nährstoffe haben. Die Fähigkeit zur Verdauung von Fett endlich scheint im allgemeinen völlig zu fehlen, ist jedenfalls noch in keinem Falle erwiesen, wenn wir von den Fällen absehen, in denen Fetttropfen als Stoffwechselprodukte auftreten, um anscheinend als Reservematerial aufgespeichert zu werden (namentlich bei den *Chrysomonadinen* und in der Zentralkapsel der Radiolarien, vgl. Fig. 188). In anderen Fällen finden wir, wie im Anschluß hieran erwähnt sei, Eiweißstoffe, Paramylon, Glykogen oder Stärke (vgl. Fig. 17) als Reservematerial aufgespeichert.

Die Tintinnodeen bilden nach MERKLE (1909) auch Fermente, die die Kieselsäure der Silicoflagellatengehäuse und die Cellulose der Peridinieenpanzer aufzulösen vermag.

„Da nur kernhaltige Protozoen auf die Dauer die Nahrungsteile assimilieren können, ist man zu der Annahme berechtigt, daß der Kern mit der Produktion der Fermentträger irgendwie im Zusammenhang steht. Dafür spricht auch der Umstand, daß er bei hungernden Tieren oft eine starke Vergrößerung erfährt, weil ihm von seiten des Protoplasmas in diesem Sinne keine Substanz mehr entführt wird.“ (PROWAZEK 1910; vgl. auch oben S. 66 und 117).

Während der Verdauungsvorgänge bleiben die Nahrungskörper bzw. die sie einschließenden Vakuolen nicht an einer Stelle im Plasma liegen, vielmehr werden sie von langsamen Plasmaströmungen herumgeführt. Der bei dieser Cyclose verfolgte Weg ist bei den amöboiden Arten meist ein unregelmäßiger, bei formbeständigen Protozoen dagegen häufig ein ganz bestimmter. Außer bei *Paramaecium*, für das er bereits

auf S. 100 f. besprochen und abgebildet wurde, ist er vor allem noch bei *Carchesium polypinum* (Fig. 311) dank der eingehenden Untersuchungen von Miss GREENWOOD (1894) gut bekannt. Hier wandert die Nahrungsvakuole nach ihrer Ablösung vom Grunde des Cytopharynx nach hinten (kleine Kreise in der Figur), bis sie, in der Konkavität des hufeisenförmigen Großkerns angelangt, vorläufig zur Ruhe kommt (Kreuzchen in der Figur). Jetzt fängt die Vakuolenflüssigkeit an sauer zu reagieren, worauf die Bewegung der beweglichen Nahrungskörper aufhört und sämtliche in der Vakuole enthaltenen Nahrungs-Partikelchen und Körnchen sich zu einer festeren Kugel zusammenballen (vgl. hierzu auch

S. 101). Der so gebildete Nahrungsballen wandert dann in ziemlich bestimmter Richtung (Punkte in der Figur), aber während verschieden langer Zeit, durch das Plasma. Bisweilen wird er sofort der Einwirkung der verdauenden Fermente unterworfen (die Verdauung kann überall im Endoplasma stattfinden, wagerechte Striche in der Figur); bisweilen aber wird er zunächst noch unter Rückbildung der ihn enthaltenden Vakuolen-

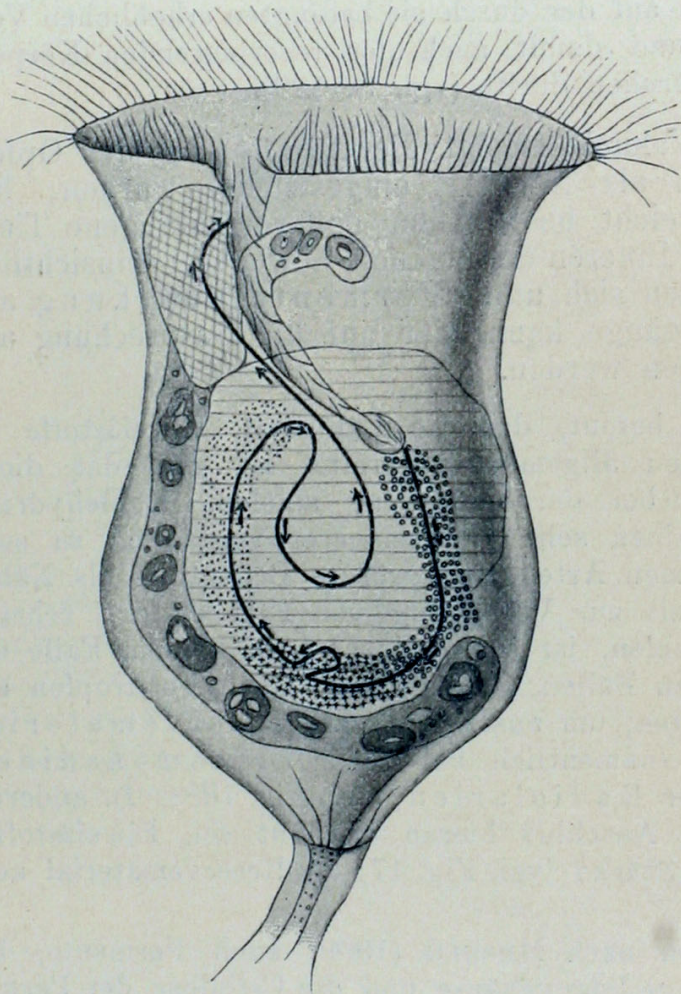


Fig. 311. **Cyclose bei *Carchesium polypinum*** (L.). Schema des Weges, welchen die aufgenommene Nahrung nimmt bis zur Verdauung und zur Entleerung der Exkremente. Das Nähere im Text. Nach GREENWOOD (1894) aus VERWORNs Allgem. Physiologie.

flüssigkeit aufgespeichert. In diesem Falle wird dann bei seiner späteren Verdauung wieder eine neue Nahrungsvakuole gebildet. Die unverdauten Nahrungsreste (kreuzweise Schraffierung in der Figur) gelangen an eine bestimmte Stelle des Vestibulums, wo sie durch den Zellafter in letzteres entleert werden, um nach außen zu gelangen (vgl. auch nachstehend die Defäkationsorganellen).

Eine Auswahl der Nahrung findet bei *Carchesium* nicht statt. Alle Körperchen irgendwelcher Art werden eingestrudelt, vorausgesetzt, daß sie klein genug sind. Alle Körperchen, verdauliche und unverdauliche, werden zu Nahrungsballen zusammengeschweißt. Doch ist der Aufenthalt der unverdaulichen Ballen meist ein abgekürzter und neue Vakuolenflüssigkeit wird um sie nicht gebildet. Das gleiche gilt nicht nur für die meisten anderen Infusorien, die ihre Nahrung durch

Einstrudeln gewinnen ¹⁾; auch von anderen Protozoen können gewisse, dem Plasma gegenüber indifferente anorganische und organische Substanzen (z. B. Quarzstückchen, Ruß, Karmin) aufgenommen und unter Umständen in so großen Mengen aufgespeichert werden, daß die Aufnahme wirklicher Nahrungsstoffe nicht mehr möglich ist und die Tiere verhungern (von PROWAZEK für Amöben angegeben). Nach METALNIKOW (1912) ist jedoch bei Paramäcien Größe und Zahl der Nahrungsvakuolen innerhalb gewisser Grenzen abhängig von der Art der aufgenommenen Substanzen und hört bei dauernder Zufuhr unverdaulicher Stoffe (z. B. Karmin) die Bildung der Nahrungsvakuolen schließlich auf, um erst nach einer eventuellen Teilung wieder von neuem zu beginnen.

Andererseits trifft nach GRUBER (1912) *Amoeba proteus* schon bei der Aufnahme eine Auslese unter den sie umgebenden Formelementen und nimmt nur brauchbare Stoffe als Nahrung an. Die Aufnahme und Aufspeicherung von Karminkörnern ist nach ihm ein Ausnahmefall, der mit der Ernährung nichts zu tun hat. Diese Aufnahme erfolgt nämlich nicht nach Art derjenigen von Nahrungskörpern, sondern beruht nur darauf, daß die Karminkörnchen auf der Oberfläche der Amöbe sehr leicht kleben bleiben. Infolgedessen geraten sie nämlich bei der Fortbewegung der Amöbe mit dem bisherigen Ektoplasma, an dem sie haften, an dem Hinterende des Tieres in dessen Inneres hinein (vgl. die Besprechung der Bewegung der Amöbe auf S. 50), und durch diese starke Adhäsion des Karmins an das Plasma erklärt sich auch, warum die Körnchen sich so lange in dem Amöbenkörper halten und nicht alsbald wieder wie unverdauliche Nahrungsreste ausgeworfen werden. Steinchen, lebloser Detritus usw. werden von *Amoeba proteus* nie aufgenommen. RHUMBLER betont offenbar mit Recht, daß „die Amöbe in irgendeiner Weise gegen die unfreiwillige Einfuhr ihr nicht nutzbringender oder schädlicher, mit ihr auf demselben Boden vorkommender Fremdkörper gefeit sein muß, sonst hätte sie der Kampf ums Dasein schon längst aus dem Bilde des Bodenlebens unserer Gewässer wegwischen müssen“. „Die Amöbenoberfläche besitzt ganz unbestreitbar für die meisten mit ihr in Berührung kommenden Fremdkörper nicht von vornherein Importfähigkeit, die unter jedweden Umständen in Wirksamkeit tritt, sondern es muß erst eine ganze Reihe chemischer und physikalischer Bedingungen erfüllt sein, damit die Amöbenoberfläche für den betreffenden Fremdkörper importfähig wird.“

C. Defäkationsorganellen.

Bei den Sarcodinen kann die Entleerung der unverdauten Nahrungsreste ganz ebenso wie die Aufnahme der Nahrung an jeder beliebigen Stelle der nackten Oberfläche erfolgen. Für die Amöben ist die Art dieser Entleerung bereits auf S. 58—60 besprochen worden. Hier seien im Anschluß daran nur noch Angaben über die Defäkation und die sogenannten Sterkome der Foraminiferen gemacht.

Bei *Peneroplis pertusus* erfolgt die Defäkation nach WINTER (1907) periodisch und nimmt dann mehrere Stunden in Anspruch. Nachdem eine Zeit der Ruhe vorausgegangen, fangen die Pseudopodien an

¹⁾ Stentor kann durch Umkehr der Schlagrichtung der Peristomwimpern bestimmte Körper beiseite schleudern statt sie einzustrudeln und Vorticellen können Körper, die bereits ins Vestibulum eingedrungen waren, noch wieder heraus schleudern.

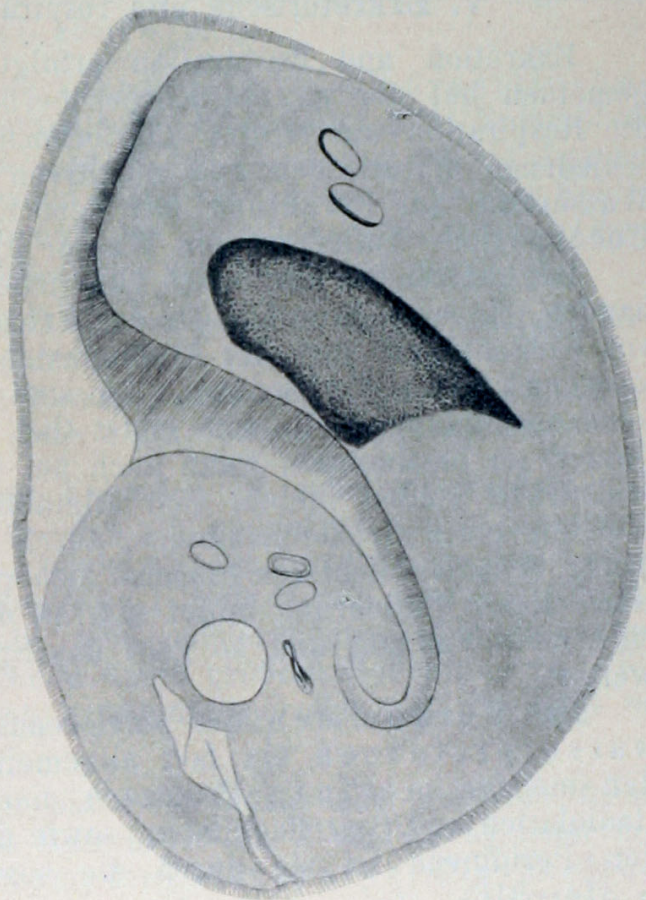
zu spielen, die Körnchenströmung auf ihnen wird langsam heftiger und es beginnt ein Hinaustragen oder vielmehr ein Abfließen der einzelnen Brocken auf den weit ausgestreckten Pseudopodien. Die Stücke gleiten auf ihnen entlang, quer und längs gestellt, manchmal rotierend und von einer flüssigen Grundsubstanz umgeben. Auch die kleinsten Stücke liegen nicht in einer Vakuole. Beim Fließen auf der Unterlage wird das einzelne Detritusstückchen sozusagen verloren, anfangs entfernter, später näher, größere früher, kleinere später, so daß bald die von den Pseudopodien bestrichene Fläche mit einer Lage von Faeces verschieden dicht besät ist, die dann wolkenartig mehr und mehr in die Höhe wächst. Die Pseudopodien endigen, wenigstens anfangs, auf diesen Kotmassen mit verbreiterten Endplatten, die miteinander kommunizieren. In dem undefinierbaren Detritus kleiner und kleinster Bestandteile heben sich hervor Reste zerknitterter Cellulosehüllen vielzelliger und einzelliger Algen, Diatomeenschalen, chitinöse Hüllen kleiner Teile von Krustern, von den verschiedensten Organismen herrührende Kalk- und Kieselsäure-Fragmente u. a., ein Beweis, daß *Peneroplis* in der Nahrungsaufnahme nicht wählerisch ist; zahlreiche, durch ihr stärkeres Lichtbrechungsvermögen auffallende, blaßgrüne oder gelbbraune, polyedrische Gebilde lassen sich als Exkretkörner identifizieren. Immer mehr dieser Fäkalien werden auf den dicken Pseudopodialsträngen auf die schon hinausbeförderten aufgelagert und kleben dabei vielfach an das schon vorhandene Material fest, was wohl auf die erhärtende wäßrige Grundsubstanz zurückzuführen ist. Große Zwischenräume werden dabei zum Teil ausgefüllt und eine verschieden dichte Fäkalwolke umschließt bald durch ihre Höhe die Mündung der Thalamophore. Bei Beginn der Defäkation ist die Geschwindigkeit des Transportes sowie die Lebhaftigkeit der Erscheinung eine bedeutend größere als gegen Ende des Vorgangs. Wenn die Foraminifere in einem hohen Wall von Fäkalmassen sitzt, die verschieden dicht zusammengeballt sind, wird die Pseudopodial-Plasmamasse, die die einzelnen Ballen durchzieht, vollends zurückgezogen. Hierbei werden etwa mitausgetretene Vakuolen, ein Teil des feineren Detritus, vor allem aber mit hinausbeförderte Kommensalen (*Zooxanthellen*, Fig. 17), soweit sie nicht etwa modifiziert sind, mit zurückgenommen. Die Dauer der Ausscheidung kann 2—5 Stunden und mehr, je nach dem Alter des Tieres, in Anspruch nehmen. Als Folge der angestregten Plasmatätigkeit tritt dann eine Ruhepause ein, die ebenfalls, je nach dem Alter des Tieres, verschieden lange dauert: junge *Peneroplen* kriechen oft schon nach einer halben Stunde weiter, mittelgroße nach 3—5 Stunden, ältere nach einigen Tagen, alte Individuen bleiben bis zu einer Woche an derselben Stelle. Das Ausstoßen der Fäkalmassen geht häufig dem Bau einer neuen Kammer oder einer Vermehrung des Tieres, auch dem Absterben alter makrophärischer Individuen mit großer Kammerzahl voraus.

Bei den schlickbewohnenden Foraminiferen wie auch bei dem diesen nahestehenden *Trichosphaerium* werden die unverdauten Nahrungsreste zu charakteristischen, meist sehr regelmäßig gestalteten, kugeligen bis ellipsoiden Ballen von gewöhnlich ca. 5—50 μ Durchmesser zusammengebacken, die als Sterkome bezeichnet werden. Sie können zu gewissen Zeiten in kolossalen Mengen im Weichkörper aufgespeichert werden, während sie zu anderen Zeiten (namentlich zu Beginn der Fortpflanzung) in großer Zahl als „Fäkalballen“ nach außen entleert werden. Bei pelagischen Foraminiferen fehlen sie vollständig und auch bei benthonischen Formen fehlen sie bzw. verlieren sie sich

im Laufe einiger Zeit bei solchen Individuen, die nicht auf Schlickboden leben. Sie werden daher offenbar in der Hauptsache aus mit der Nahrung aufgenommenem Schlick gebildet. Nach SCHAUDINN (1899) könnte ihre Aufspeicherung ein Mittel zur Verfestigung des weichen Plasmas darstellen; außerdem aber macht derselbe auch darauf aufmerksam, daß durch die Anhäufung großer und fester Partikel in der Mitte des Plasmas die Oberfläche des Foraminiferenkörpers vergrößert und damit der durch diese erfolgende Gasaustausch und die Ernährung durch Osmose erleichtert wird, sowie ferner, daß es für schlammbewohnende Tiere vorteilhaft ist, wenn der Körper durch Aufnahme von Fremdkörpern schwerer wird; sie werden dann bei Strömungen nicht so leicht mit fortgerissen und sinken, wenn das doch geschieht, schneller wieder in ihr Nahrungsgebiet zurück. Bei *Peneroplis* erfolgt die Bildung von Sterkomen im Gegensatz zu anderen Formen niemals innerhalb der Schale, aber nach der vorstehend geschilderten Defäkation entstehen den Sterkomen anderer Foraminiferen äußerlich ähnelnde Fäkalballen, wenn die Foraminifere noch längere Zeit auf derselben Stelle verbleibt und hierbei die Pseudopodien zwecks Nahrungsaufnahme in Tätigkeit sind. Durch deren beständiges Vorwärts- und Rückwärtsfließen werden die einzelnen Fäkalhaufen mehr und mehr in sich zusammengepreßt und zu regelmäßigen Ballen von rotations-ellipsoidaler Gestalt mit einem Längendurchmesser von ca. 20—350 μ umgestaltet, deren mechanische Bildung WINTER (1907) den Gewöllen der Raubvögel vergleicht.

Bei den Xenophyophoren (Fig. 39) finden sich den Sterkomen der Foraminiferen vergleichbare, meist dunkelbraun gefärbte und als Kotballen gedeutete Klumpen in großer Zahl in besonderen, durch verhältnismäßig größeren Durchmesser ausgezeichneten röhrenförmigen Aesten (Sterkomaen) des stark verzweigten Weichkörpers (F. E. SCHULZE, vgl. Fig. 40 auf S. 27).

Fig. 312. **Nyctotherus magnus** BEZZ. aus dem Enddarm von *Rana hexadactyla*. Linke Flächenansicht. Am Hinterende die hier sehr lange und senkrecht zur Fläche des Tieres stark abgeplattete Afterröhre; vor dieser die kontraktile Vakuole. Von Nahrungsresten sieht man im Plasma 5 Distomeneier und ein geschrumpftes rotes Blutkörperchen. Aus BEZZENBERGER 1904.



Bei Flagellaten und Ciliaten erfolgt die Entleerung der unverdauten Nahrungsreste an bestimmten Stellen des Körpers, die freilich bei verschiedenen Formen sehr verschiedene Lage haben können. Meist findet sich die Afterstelle (Cytopyge) am Hinterende

oder doch in dessen Nähe (z. B. Colpoda, Fig. 158; Paramecium, Fig. 109; Stylonychia, Fig. 302; vgl. ferner auch Fig. 59, 60, 61). Sie kann aber auch ganz ans Vorderende rücken, und zwar ist dies vor allem bei manchen festsitzenden Formen der Fall: Bei den Craspedomonaden liegt sie innerhalb der die Geißelbasis umgebenden Kragens (Fig. 285, *d*), bei Stentor und ähnlich auch bei Folliculina liegt sie links dicht hinter dem Peristomsaum und etwas vor der kontraktilen Vakuole (Fig. 62), bei den Vorticelliden ist sie in das Vestibulum hineingerückt, wo sie ebenfalls nicht weit vor der Ausmündung der kontraktilen Vakuole gelegen ist (Fig. 311).

In der Regel ist diese Afterstelle nur im Momente der Defäkation sichtbar als rundliche oder spaltartige Durchbrechung der Pellicula, die sich nach Entleerung der Exkremente wieder vollständig schließt. Bei einigen Infusorien ist sie aber durch eine röhrenförmige Einsenkung der Körperoberfläche deutlicher gekennzeichnet (z. B. bei Nyctotherus, Fig. 312, und den Ophryoscoleciden). Diese Afterröhre ist, wenn ihre Umgebung, wie bei Nyctotherus, bewimpert ist, gleichfalls von Wimpern ausgekleidet und dokumentiert hierdurch ihre Zugehörigkeit zur Körperoberfläche, derart, daß die eigentliche, derjenigen anderer Infusorien entsprechende Cytopyge an ihrem Grunde liegt. Bei Nyctotherus ergießt sich in sie auch der Inhalt der kontraktilen Vakuole.

V. Exkretorische und respiratorische Organellen.

Exkretion und Respiration erfolgt bei den Protozoen im allgemeinen auf der ganzen Körperoberfläche. Dabei wird vor allem die Respiration unterstützt und erleichtert durch das Spiel der verschiedenen motorischen und nutritiven Organellen, die immer neue Wasserteile zur Berührung mit dem Körper bringen (Pseudopodien, Undulipodien; Aufnahme von Wasser durch den Cytopharynx).

Bei zahlreichen Protozoen sind jedoch besondere Organellen vorhanden, die speziell im Dienste der Exkretion und (durch Ausscheidung von Kohlensäure) auch der Atmung stehen: die pulsierenden oder kontraktilen Vakuolen. Es sind dies tropfenförmige Flüssigkeitsansammlungen, die sich meist (bei Mastigophoren und Infusorien immer) an bestimmten, wenn auch bei verschiedenen Arten sehr verschiedenen Stellen bilden, sich allmählich vergrößern und nach Erreichung eines Größenmaximums durch Kontraktion des umgebenden, häufig etwas verdichteten Plasmas sich plötzlich nach außen entleeren. Nach dieser Entleerung bildet sich an der Stelle der verschwundenen eine neue Vakuole und so geht das Spiel in regelmäßigem Wechsel weiter.

Das Vorkommen der pulsierenden Vakuole ist bei den Süßwasserprotozoen ein fast allgemeines. Dagegen fehlt dieselbe den meisten marinen Protozoen, namentlich allen Foraminiferen, Radiolarien und Cystoflagellaten, sowie den marinen Euflagellaten (bei den Peridineen ist sie durch die sogenannte Pusule ersetzt, vgl. S. 314—316).

Bei der allmählichen Gewöhnung der *Amoeba verrucosa* an das Leben im Meerwasser (vgl. S. 45 f.) konstatierte ZUELZER (1910) charakteristische Veränderungen und schließliches Verschwinden der kontraktilen Vakuole, deren normales Spiel also offenbar wesentlich durch die

osmotischen Verhältnisse im Süßwasser bedingt ist. Bei einem Salzgehalt von $\frac{3}{10}$ — $\frac{3}{5}$ Proz. begannen die Pulsationen der kontraktilen Vakuole langsamer zu werden. Dauerndes Verschwinden derselben wurde zuerst bei einem Salzgehalt von ca. $1\frac{1}{2}$ Proz. beobachtet, der durch langsame Verdunstung einer die Amöben enthaltenden Mischung von 9 Teilen Süßwasser und 1 Teil Meerwasser im Laufe von 20 Tagen erreicht wurde. Wurde dann der Salzgehalt durch vorsichtigen tropfenweisen Zusatz von Süßwasser wieder allmählich herabgesetzt, so trat bereits nach 24 Stunden die pulsierende Vakuole wieder auf, „also erheblich schneller, als sie verschwunden war“ (der Konzentrationsgrad wird nicht angegeben). Zunächst war dieselbe freilich noch sehr klein und pulsierte nur langsam, aber regelmäßig. Bei fortschreitender Aussüßung des Wassers vergrößerte sie sich dann aber, und zwar auch dies wieder „schneller als sie verschwunden war“.

Bei dem marinen foraminiferenähnlichen *Trichosphaerium sieboldi* beobachtete SCHAUDINN (1899) an Stelle rasch pulsierender Vakuolen mehr oder weniger zahlreiche wasserklare Flüssigkeitsvakuolen, die ihre Gestalt und Größe langsam ändern, so langsam freilich, daß er die Vergrößerung oder Verkleinerung nur nach längeren Zwischenzeiten mit Hilfe des Zeichenprismas feststellen konnte. SCHAUDINN hält es für möglich, daß diese Vakuolen derselben Aufgabe (Bewirkung des Wasserwechsels im Plasma) dienen, wie sonst die rhythmisch pulsierenden Vakuolen. Inwieweit etwa bei anderen marinen Protozoen ähnliche Verhältnisse vorliegen, ist nicht bekannt (vgl. aber S. 312).

Ebenso fehlt die kontraktile Vakuole sehr vielen parasitischen Protozoen (den meisten endoparasitischen Flagellaten, allen Entamoeben, Cnidosporidien und Sporozoen); unter den Infusorien ist sie dagegen auch bei den parasitischen Formen meist vorhanden, so daß ihr Fehlen bei Lichophora, den Opalinen und den Astomen Schultzeina, Cepedella, Herpetophrya und Orchitophrya als Ausnahme erscheint.

Ueber ein abweichendes Exkretionsorgan bei einigen Opalinen und dem parasitischen Pycnothrix siehe S. 316.

Bei koloniebildenden Mastigophoren und Infusorien hat selbstverständlich jedes Individuum seine eigene pulsierende Vakuole.

Die Zahl der kontraktilen Vakuolen ist sehr verschieden. Als Regel kann die Einzahl gelten, doch gibt es hiervon viele Ausnahmen. Da nicht nur nahe Gattungen, sondern sogar verschiedene Arten einer Gattung (z. B. Balantidium mit teils 1, teils 2 und teils 4 Vakuolen) sich durch verschiedene Zahl von pulsierenden Vakuolen unterscheiden, kommt diesem Merkmal keine größere Bedeutung zu. Wo mehrere pulsierende Vakuolen vorkommen, schwankt die Zahl oft sogar individuell.

Einige Beispiele: Mehrere bis viele pulsierende Vakuolen finden sich unter anderem unter den Rhizopoden bei Diffugia, unter den Heliozoen bei Actinosphaerium, Raphidiophrys, Clathrulina.

Unter den Mastigophoren scheint bei den Volvocales und Chloromonadinen die Zweizahl der Vakuolen vorzuherrschen, doch hat Volvox nur eine und Chlorogonium 12—16 Vakuolen; mehrere Vakuolen finden sich im allgemeinen auch bei den Chrysomonadinen und zwar sind auch hier meist 2 kontraktile Vakuolen vorhanden, gelegentlich aber auch eine größere Zahl (z. B. 4—6 bei Microglena).

Unter den Wimperinfusorien kommen mehrere pulsierende Vakuolen bei Peritrichen und Hypotrichen anscheinend nirgends vor, bei Heterotrichen gelegentlich (z. B. *Balantidium*, *Bursaria*, *Cycloposthium*, das letztere mit 6 kontraktile Vakuolen) und bei Holotrichen nicht selten (z. B. *Paramaecium* mit 2, einzelne Arten von *Holophrya* und *Nassula* mit mehreren, wenn auch wenigen, endlich *Trachelius*, *Dileptus* und *Anoplophrya* mit zahlreichen [bis zu 30] Vakuolen). Zahlreiche Vakuolen können scheinbar ordnungslos (z. B. *Anoplophrya aegitnensis*) oder in einer einzigen regelmäßigen, seitlich gelegenen Längsreihe (z. B. *Anoplophrya naidos* u. a., *Mesnillella*, *Rhizocaryum*) oder endlich in zwei seitlichen Längsreihen angeordnet sein (z. B. *Anoplophrya striata* u. a., *Hoplitophrya*, Fig. 275).

Gar nicht selten ist das Vorkommen mehrerer bis vieler pulsierender Vakuolen bei den Suctorien, so z. B. innerhalb der Gattungen *Tocophrya* und *Dendrosoma*.

In manchen Fällen nimmt die Zahl der pulsierenden Vakuolen mit dem Wachstum zu. Bei *Collinia* (*Anoplophrya* autt.) *branchiarum* z. B. besitzen die kleinsten Exemplare nur eine hintere Vakuole, mit fortschreitendem Wachstum dagegen vermehrt sich deren Zahl bis auf 6, 7 oder noch mehr, die in einer Längsreihe längs eines Seitenrandes des Tieres angeordnet sind.

Bei den von CÉPÈDE (1910) zur Familie der Discophryiden zusammengefaßten parasitischen (Astomen) Holotrichen findet sich statt pulsierender Vakuolen ein die ganze Länge des Tieres durchlaufender pulsierender Längskanal (Fig. 313). Derselbe besitzt eine größere Zahl in gleichen Zwischenräumen aufeinander folgender Ausmündungs-

stellen und erweist sich hierdurch als homolog den ganzen, in einer Reihe hintereinander gelegenen kontraktile Vakuolen anderer Astomen. Er bildet sich auch bei jeder Diastole neu durch Zusammenfließen von zahlreichen einzelnen kleinen Vakuolen.

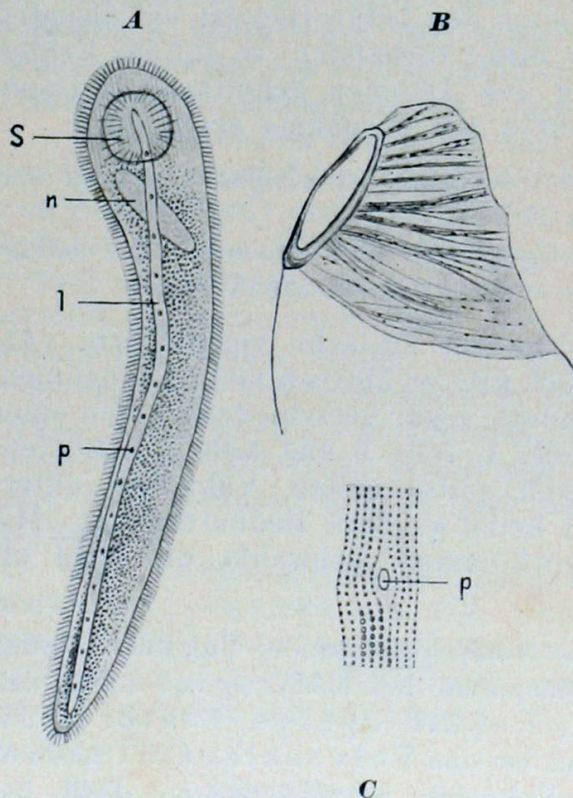


Fig. 313. **Haptophrya gigantea** (MAUPAS). **A** Gesamtbild, Ventralansicht, nach dem Leben. Vergr. 68:1. **B** Vorderende in Seitenansicht mit den von der Sauggrube ausstrahlenden, von CÉPÈDE als Myoneme bezeichneten Faserzügen. Vergr. 176:1. **C** Ein Teil der Körperoberfläche in der Gegend einer Ausmündung des pulsierenden Längskanals mit den in Längsreihen stehenden Wimperursprüngen. Vergr. 720:1. *l* pulsierender Längskanal, *n* Makronucleus, *p* Ausmündungsstellen des pulsierenden Längskanals, *s* Sauggrube. Nach CÉPÈDE 1910.

Ueber die Lage der pulsierenden Vakuole im Körper läßt sich im allgemeinen nichts sagen, da sie zu sehr wechselt. Doch scheint sie, von den formveränderlichen Amöben natürlich abgesehen, bei

einer und derselben Tierart fast überall bestimmt und konstant zu sein.

Ueber Bau- und Formveränderung der pulsierenden Vakuole vgl. vor allem die Darstellung bei *Amoeba* und *Paramaecium* (S. 49 und 94–96). Pulsierende Vakuolen vom Typus derjenigen von *Paramaecium*, d. h. mit einem Hofe von regelmäßig radiär angeordneten, birnförmigen Bildungsvakuolen sind bei Flagellaten, Ciliaten und Suctorien weit verbreitet. In vielen anderen Fällen ist aber die Anordnung der Bildungsvakuolen nicht so sehr regelmäßig und ihre Form nicht so charakteristisch: einfache Tröpfchen im Umkreise des großen Tropfens (d. h. der pulsierenden Vakuole), die nach dessen Austritt oder Entleerung zur Bildung einer neuen kontraktilen Vakuole zusammenfließen. Anstatt der Bildungsvakuolen kommen bei manchen Ciliaten auch zuführende Kanäle in konstanter Lage vor.

Unter den Heterotrichen besitzt *Spirostomum* einen einzigen solchen zuführenden Kanal, der den ganzen langgestreckten Körper von vorn bis hinten durchzieht bis zu der terminal gelegenen pulsierenden Vakuole. Indem sich dieser Kanal von vorn nach hinten verschließt, um sich nachher neu zu bilden, wird die in ihm enthaltene Flüssigkeit nach hinten getrieben, wo sie sich staut, bis sie, nach Entleerung der alten, zu einer neuen pulsierenden Vakuole wird. Anstatt des einen hat *Climacostomum* zwei solcher zuführender Kanäle. Auch *Stentor* (Fig. 62) hat zwei zuführende Kanäle: die pulsierende Vakuole liegt hier weit vorn links; von den zwei der Vakuole zustrebenden Kanälen kommt der eine von hinten, der andere vom Rande des Stirnfeldes, an dem er der adoralen Zone entlang läuft.

Bei *Urocentrum* (holotrich) finden sich 4 zuführende Kanäle, die der terminal gelegenen kontraktilen Vakuole zustreben. Bei *Frontonia leucas* ziehen von allen Seiten etwa 10 lange geschlängelte zuführende Kanäle nach der rechts in der Mitte der Körperlänge gelegenen pulsierenden Vakuole. Bei *Ophryoglena* nimmt die Zahl derselben noch mehr zu, wobei sie sich aber verkürzen, so daß der ganze Apparat schließlich wieder an die Verhältnisse bei *Paramaecium* erinnert.

Die Pulsationsfrequenz der kontraktilen Vakuolen ist äußerst verschieden. Das Zeitintervall zwischen zwei aufeinander folgenden Entleerungen beträgt bei *Chilodon cucullulus* nach ROSSBACH (1872) je nach der Temperatur 4–9 Sekunden, bei *Spirostomum teres* nach STEIN (1867) bei Zimmertemperatur ca. 30–40 Minuten und zwischen diesen Extremen kommen alle Uebergänge vor. Daß Temperaturerhöhung bis zu einer gewissen optimalen Grenze beschleunigend wirkt, wurde schon auf S. 96 bei der Besprechung von *Paramaecium* betont.

Bei *Euglena* beobachtete KLEBS als Intervall zwischen zwei Entleerungen bei 18–20° C 30 Sekunden, bei 32° C (dem Optimum) 22 Sekunden, darüber hinaus wieder Abnahme und bei 42° C wieder 30 Sekunden, bei 48–50° C Stillstand. Bei Vorticellen fand OSTERMANN (1903) bei 5° C alle 58–60, bei 14° C alle 22–24 und bei 25° C alle 8 Sekunden eine Entleerung. Für einige andere Infusorien stellt KANITZ (1907) folgende Zahlen zusammen, zum Beweise, daß für ein etwa 20-gradiges Temperaturintervall eine Temperatursteigerung von 10° die Pulsfrequenz nahezu verdoppelt:

	3 ° C	5 ° C	7 ° C	9 ° C	10 ° C	19 ° C
<i>Euplotes charon</i>	—	61,5 Sek.	—	—	48 Sek.	—
<i>Stylonychia pustulata</i>	—	18 „	—	—	14 „	—
<i>Chilodon cucullulus</i>	—	9 „	—	7 Sek.	—	—
<i>Glaucoma colpidium</i>	110 Sek.	—	50 Sek.	30 „	—	19 Sek.
	20 ° C	24 ° C	25 ° C	27 ° C	30 ° C	
<i>Euplotes charon</i>	28 Sek.	23,5 Sek.	—	—	23 Sek.	
<i>Stylonychia pustulata</i>	6 „	—	—	4 Sek.	4 „	
<i>Chilodon cucullulus</i>	4 „	—	4 Sek.	—	—	
<i>Glaucoma colpidium</i>	—	—	—	6,5 Sek.	5,5 Sek.	

Soweit marine Protozoen überhaupt kontraktile Vakuolen besitzen (Infusorien), ist deren Pulsation anscheinend stets eine sehr langsame, wesentlich langsamer als bei den meisten Süßwasserprotozoen. Während bei diesen das Intervall zwischen zwei Entleerungen nur selten 1 Minute überschreitet und meist erheblich unter dieser Grenze bleibt (vgl. die vorstehenden Zahlen), ermittelte beispielsweise MAUPAS das Entleerungsintervall bei den marinen Infusorien *Lagynus crassicollis* zu 2 Minuten, *Acineria incurvata* zu 6—12 Minuten und *Cryptochilum echini* (Parasit eines Seeigels!) zu 20 Minuten (sämtlich bei Zimmertemperatur). Daß hierbei die Konzentration des Mediums verzögernd wirkt, geht aus Versuchen hervor, die DEGEN (1905) mit dem Süßwasserinfusor *Glaucoma colpidium* angestellt hat. Als Beispiel sei angeführt, daß bei Zusatz von NaCl zum Wasser sich bei Zimmertemperatur im Mittel der Einzelbeobachtungen nachstehende Entleerungsintervalle ergaben:

Bei einer Konzentration von	0,0025 Mol. im Liter	21,5 Sekunden
„ „ „ „	0,0050 „ „ „	30,9 „
„ „ „ „	0,0075 „ „ „	41,4 „
„ „ „ „	0,0100 „ „ „	116,0 „

Vgl. hierzu auch die Versuche mit Amöben auf S. 308 f.

Bei der ungewöhnlich langsam pulsierenden Vakuole von *Spirostomum teres* erfolgt nach STEIN (1867) die Entleerung erst eine Viertelstunde oder noch später, nachdem die Vakuole im Verlaufe von ebenfalls 15—20 Minuten ihre größte Ausdehnung erreicht hat.

Die Entleerung der Vakuole erfolgt in der Regel durch einfachen Durchbruch nach außen (vgl. bei *Amoeba* und *Paramaecium*, S. 49 und 94 f.). Bei Infusorien wird jedoch meist im Gegensatz zu Amöben und Flagellaten das Vorkommen eines ständigen Exkretionsporus angenommen. In einzelnen Fällen erfolgt die Entleerung nicht direkt nach außen. Bei *Nyctotherus* entleert sich die Vakuole in die Afterröhre und besonders eigentümliche Mündungsverhältnisse, die eine besondere Besprechung erheischen, finden sich bei den Vorticelliden und einigen Flagellaten (*Thaumatomastix* und *Euglenoideen*).

Während DEGEN (1905) bei *Glaucoma colpidium* und KHAINSKY bei *Paramaecium* die herrschende Annahme von dem Vorhandensein eines ständigen Exkretionsporus nicht bestätigen konnten, ist ein solcher bei anderen Infusorien auch von neueren Untersuchern gefunden worden

(HAMBURGER 1903 bei *Trachelius ovum*, SCHRÖDER 1906 bei *Campanella umbellaria*, vgl. Fig. 314, COLLIN 1912 bei Suctorien, vgl. Fig. 345). Hierbei bleibt zunächst freilich noch unerklärt, wie die Dehnung der Vakuole während der Diastole möglich ist und zustande kommt, ohne daß die sich ansammelnde Flüssigkeit sofort durch den Exkretionsporus nach außen abfließt (vgl. hierzu auch nachstehend den Mechanismus des Vakuolenspieles). BÜTSCHLI nahm seinerzeit bei den Infusorien eine plasmatische „Verschlußlamelle“ des Exkretionsporus an, die bei der Entleerung der Vakuole einreißt, derart, daß der „Porus“ keine dauernd persistierende Oeffnung, sondern nur eine grubige Einsenkung der Oberfläche darstellt, im wesentlichen also ähnlich wie dies jetzt KHAINSKY für *Paramaecium* genauer geschildert hat.

Bei den Vorticelliden entleert sich die Vakuole in das Vestibulum (vgl. S. 298), aber meist auch noch nicht direkt, sondern zunächst in ein sogenanntes Reservoir (Fig. 63, R), einen blasenartigen Anhang des Vestibulums, der als sack- bis beutelförmige Ausstülpung der ursprünglichen Einmündungsstelle der Vakuole aufgefaßt werden kann. Dieses einer Harnblase vergleichbare Reservoir ist im Gegensatz zu der Vakuole von einer eigenen festeren Wandung ausgekleidet, im übrigen aber bei verschiedenen Arten verschieden entwickelt; einigen scheint es zu fehlen und bei *Campanella* ist es durch zwei festwandige Entleerungskanäle der Vakuole ersetzt (Fig. 314).

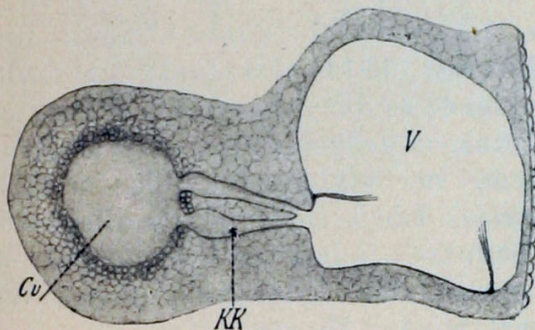


Fig. 314.

Fig. 314. **Campanella umbellaria** (L.). Querschnitt durch die Vestibulargegend mit der kontraktile Vakuole. Cv kontraktile Vakuole, KK Entleerungskanäle derselben, V Querschnitt des Vestibulum. Nach SCHRÖDER 1906 aus DOFLEIN.

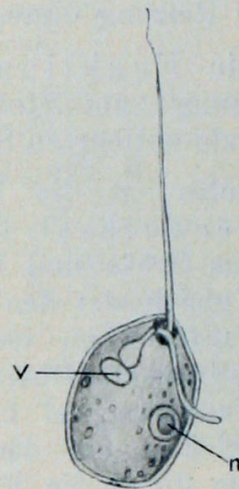


Fig. 315.

Fig. 315. **Notosolenus apocamptus** STOKES. Aus dem Süßwasser. Ventralansicht. n Kern, v kontraktile Vakuole. Vergr. 2000:1. Nach SENN 1911.

Bei *Thaumatomastix* findet sich am Vorderende ein kleines Reservoir in Form einer gedrunken-birnförmigen Einsenkung und jederseits neben diesem liegt eine kontraktile Vakuole; beide Vakuolen entleeren sich abwechselnd in das Reservoir. Bei den Euglenoideen erfolgt die Entleerung der meist in der Einzahl vorhandenen Vakuole in ein ähnliches Reservoir, das jedoch im Vergleich zu *Thaumatomastix* stärker entwickelt und vor allem mehr in die Tiefe gerückt ist, so daß seine Ausmündung am Vorderende des Körpers häufig durch einen langen feinen Ausführkanal vermittelt wird (vgl. Fig. 315 und 288, sowie auch Fig. 18).

Den Mechanismus des Vakuolenspieles hat DEGEN (1905) aufzuklären gesucht, indem er die kontraktile Vakuole als einen Teil eines rein osmotischen Systems betrachtet.

Da jedenfalls das Protoplasma der Süßwasserprotozoen eine höhere osmotische Konzentration besitzt, als das umgebende Wasser, so muß es einem ständigen Einströmen von Wasser unterliegen. Nimmt man nun mit DEGEN an, daß der Inhalt der kontraktilen Vakuole infolge der Anwesenheit von Exkretstoffen wieder eine höhere osmotische Konzentration besitzt als das Protoplasma, so muß auch ständig Wasser aus dem Protoplasma in die Vakuole strömen, bis diese so stark gefüllt ist, daß die sie vom Außenmedium trennende dünne Plasmaschicht (die Verschlusslamelle BÜTSCHLI) reißt. In demselben Augenblick, in dem hierdurch der Vakuolentropfen in direkten Kontakt mit dem umgebenden Medium kommt, muß er nach BÜTSCHLI wegen seiner großen Oberflächenspannung von dem umgebenden Medium aufgesogen werden. Nach dieser Auffassung wird die osmotische Wirksamkeit der Exkretstoffe, die bei endoparasitischen und marinen, in mehr oder minder isotonischen Medien lebenden Protozoen an nicht nachweislich differenzierten Stellen der Körperoberfläche abgeschieden werden, bei den freilebenden Süßwasserprotozoen dazu „ausgenützt, um den Organismus vor der Zerstörung durch das Wasser zu bewahren“ (BURIAN 1910).

Daß das Spiel der kontraktilen Vakuole nichts mit Kontraktionserscheinungen zu tun hat, geht auch aus der Tatsache hervor, daß elektrische Reizung dieses Spiel nicht beeinflusst.

Die Funktion der kontraktilen Vakuole steht zweifellos in Beziehung zum Stoffwechsel der Protozoen. Ueber die Natur der durch sie entleerten Stoffe liegen bisher aber kaum Beobachtungen vor.

Sicher ist die Vakuole das Hauptausscheidungsorganell für den Wasserwechsel, derart, daß PÜTTER (1911) die durch sie entleerten und aus Größe und Pulsationsfrequenz zu berechnenden Wassermengen direkt gleichsetzt den von dem Protozoon aufgenommenen Wassermengen (bei *Paramecium* bis zu 16,4 ccm, bei *Stylonychia* bis zu 30,9 ccm pro Quadratmeter Oberfläche und Stunde). Ein leichter verständliches Maß für den Wasserwechsel hat MAUPAS benutzt, indem er berechnete, binnen welcher Zeit ein dem Körpervolumen des Infusors gleiches Wasserquantum durch die Vakuole entleert wird. Es sind dies

bei <i>Uronema nigricans</i>	bei 28 ° C. 2 Min.
„ <i>Lembus pusillus</i>	„ 26 ° C. 2 Min. 27 Sek.
„ <i>Euplotes patella</i>	„ 25 ° C. 14 Min. 16 Sek.
„ <i>Stylonychia pustulata</i>	„ 24 ° C. 20 Min. 28 Sek.
„ „ <i>mytilus</i>	„ 18 ° C. 45 Min.
„ <i>Paramecium aurelia</i>	„ 27 ° C. 46 Min.

Unter den in dem entleerten Wasser enthaltenen Stoffen findet sich wahrscheinlich, wie bereits oben erwähnt, Kohlensäure. Deren Anwesenheit würde auch bereits zur Erklärung der vorstehend angenommenen osmotischen Wirkung genügen. Sie würde es auch erklären, daß die kontraktile Vakuole von Amöben bei Zusatz von etwas Alaunhämatoxylin zum umgebenden Wasser sich braun färbt (BRANDT). Vermutlich aber ist trotzdem die Kohlensäure nicht das einzige durch die Vakuole entleerte Exkret.

Mit den kontraktilen Vakuolen werden in der Regel auch die Pusulen der Dinoflagellaten verglichen, ganz bestimmt geformte und an ganz bestimmten Orten lokalisierte Organellen, deren

Form, Größe und Lagerung bei verschiedenen Gattungen und Arten verschieden, für jede aber charakteristisch ist und die in zwei verschiedenen Formen nebeneinander vorkommen.

Die Sammelpusule (Fig. 316, 6) erinnert in der Tat etwas an die pulsierende Vakuole der Euglenoideen; sie mündet mit besonderem Ausführungsgang in der Nähe der Geißelbasis und ist von einem Hofe zahlreicher kleiner Tochtervakuolen (Bildungsvakuolen) umgeben, die mit ihr durch kurze Stielchen (wohl Ausführungskanälchen) zusammenhängen.

Die Sackpusule (Fig. 316, 1—3; Fig. 231, P) ist wesentlich größer, nimmt einen großen Teil des Innern des Organismus ein und scheint in ihrer Form in der Regel Beziehungen zur Form des ganzen Flagellaten aufzuweisen. Auch sie mündet mit Hilfe eines oft nur engen Ausführungsganges in die Geißelspalte aus.

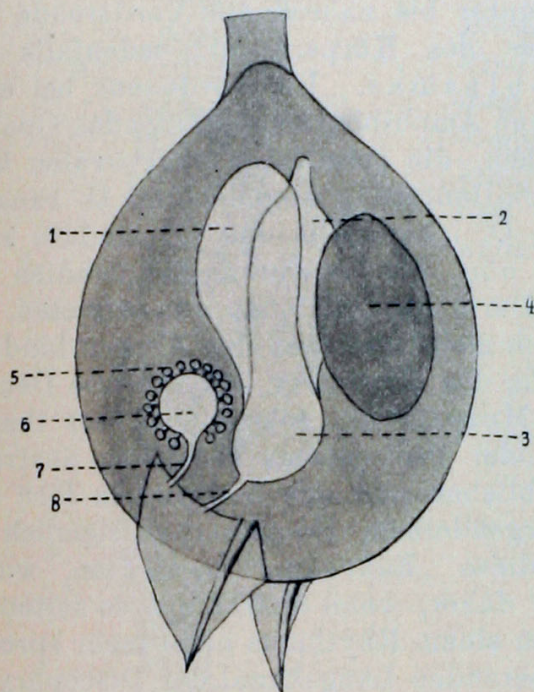


Fig. 316.

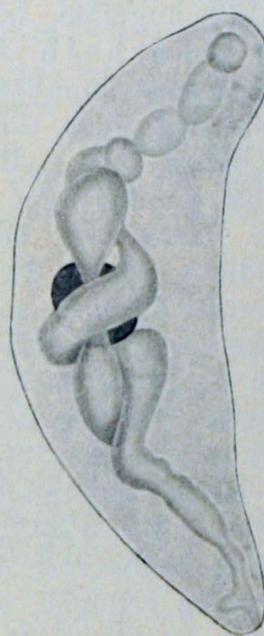


Fig. 317.

Fig. 316. **Peridinium michaelis** EHRBG., marin, linke Seitenansicht. 1—3 Sackpusule, und zwar 1 linker Sack, 2 rechter Sack, 3 Verbindungsstück derselben, 4 Kern, 5 Tochtervakuolen der Sammelpusule, 6 Sammelpusule, 7 Ausführungsgang derselben, 8 Ausführungsgang der Sackpusule. Vergr. 300:1. Nach SCHÜTT 1892.

Fig. 317. Kleines einkerniges (Frühjahrs-)Exemplar von **Opalina intestinalis** STEIN mit dem sogenannten Exkretionsorgan, das sich um den dunkel gezeichneten Kern herumwindet. Aus METCALF 1907.

SCHÜTT hat ein gelegentliches Größer- und Kleinerwerden dieser Pusulen beobachtet; ein regelmäßiges periodisches Wachsen und Abnehmen, ein typisches Pulsieren hat er aber nicht wahrnehmen können. Außerdem unterscheiden sich die Pusulen von den kontraktile Vakuolen auch noch durch den Besitz einer derben, deutlich sichtbaren Wandung, während für die pulsierenden Vakuolen das Fehlen der Differenzierung einer Wandung besonders charakteristisch ist (vgl. S. 94 u. 313). Hiernach ist es wahrscheinlich, daß auch ihre Funktion eine andere ist wie die der echten pulsierenden Vakuolen. SCHÜTT nimmt an, daß sie eine mehr oder minder wichtige, sei es aktive, sei es passive Rolle im Stoffwechsel spielen, indem sie als Behälter von in Wasser gelösten Stoffwechsel-

produkten dienen, daß sie aber außerdem auch noch die Funktion haben, als hydrostatische Organe das Schwebvermögen der Dinoflagellaten zu erhalten und zu regulieren. Gehören diese doch zu den typischen Planktonorganismen und vollführen sie doch auch gleich anderen Planktonorganismen mehr oder weniger regelmäßige vertikale Wanderungen.

Ferner sind hier auch noch eigenartige kanalförmige Organellen anzuführen, die METCALF (1907 und 1909) bzw. SCHUBOTZ (1908) bei gewissen Opalinen und bei dem merkwürdigen parasitischen Holotrichen *Pycnothrix monocystoides* gefunden und als Exkretionsorganellen gedeutet haben.

1. Bei *Opalina* handelt es sich um einen sehr unregelmäßig gestalteten, mitunter von einer Reihe aneinanderstoßender Vakuolen gebildeten Kanal ohne eigene Wandung, der vom Hinterende aus mehr oder weniger weit nach vorn, mitunter bis nahezu ans Vorderende zieht (Fig. 317), ungefähr in der Achse des Körpers und jedenfalls stets völlig innerhalb des Endoplasmas. Er wurde nur bei einem Teil der in unseren mitteleuropäischen Amphibien schmarotzenden Opalinen gefunden und auch nur bei solchen, die rundlichen oder ovalen Querschnitt haben, nie z. B. bei der plattenförmig abgeflachten *O. ranarum*. Außer bei zweikernigen Arten wie *O. intestinalis* und *O. caudata* zeigte er sich namentlich bei kleinen ein- bis zweikernigen Stadien von *O. dimidiata*, die im Frühjahr im Darm der Kaulquappen auftreten. Bei zweikernigen Formen windet er sich meist zwischen den Kernen hindurch, bei einkernigen umschlingt er häufig den Kern (Fig. 317). Seine Deutung ist noch durchaus problematisch. METCALF sah gelegentlich aus ihm am Hinterende des Tieres Körnchen oder Protoplasma-Tröpfchen austreten, die dort oft an den Cilien haften blieben und das betreffende Tier auch oft mit einem anderen oder mit irgendeinem Fremdkörper ziemlich fest verklebten. Kontraktionen, die diese „Exkretion“ bewirkten, wurden aber kaum beobachtet und müssen daher, wenn überhaupt, so selten und unregelmäßig erfolgen, daß man von einem Rhythmus nicht mehr sprechen kann. Ein Vergleich mit dem pulsierenden Längskanal der Discophryiden (vgl. S. 310) ist außerdem auch schon deshalb unzulässig, weil dieser wie die pulsierenden Vakuolen aller anderen Infusorien oberflächlich liegt und dem Corticalplasma zuzurechnen ist. Vielleicht handelt es sich nur um eine vakuoläre Degenerationserscheinung unter dem Einflusse der veränderten osmotischen Verhältnisse in dem unnatürlichen (vermutlich etwas hypotonischen) Medium, in dem die Parasiten untersucht wurden (physiologische Kochsalzlösung oder LOCKES Flüssigkeit¹⁾, in denen die Opalinen bei Zusatz von etwas Rectuminhalt des Wirtes bis zu 9 Tagen am Leben blieben). Für diese Deutung scheinen mir auch die von METCALF häufig neben und an Stelle des fraglichen Kanales beobachteten perinukleären Vakuolen zu sprechen.

2. Ein spezifisches, im Dienste des Stoffwechsels stehendes Organellensystem liegt dagegen offenbar bei *Pycnothrix monocystoides* vor, einem sehr merkwürdigen, bereits auf S. 289 erwähnten Infusor, das im Dünndarm des südafrikanischen Klippdachses lebt und, wohl im Zusammenhang mit seiner beträchtlichen Größe — es wird über 3 mm lang — eine sonst unter den Holotrichen nicht erreichte Organisations-

1) Calciumchlorid 0,07, Kaliumchlorid 0,01, Natriumchlorid 0,06, Natriumbikarbonat 0,01—0,03, Aqua destillata 100.

höhe aufweist. Bei ihm wird der völlige Mangel kontraktile Vakuolen anscheinend aufgehoben durch ein eigentümliches, meist sehr deutlich hervortretendes Kanalsystem, das nur selten und nur bei in Teilung begriffenen Tieren vermißt wurde, sich in seiner ganzen Ausdehnung auf das Endoplasma beschränkt und von SCHUBOTZ (1908) für ein Exkretionsorganell gehalten wird. Von einer etwa an der Grenze des zweiten und letzten Körperdrittels gelegenen präformierten Oeffnung erstreckt es sich, anfangs einheitlich, dann sich verzweigend, nach vorn (Fig. 318). Das Lumen der Kanäle nimmt hierbei nicht stetig ab, sondern wird in unregelmäßiger Weise bald enger, bald schwillt es zu ansehnlicher Weite an. Nach hinten vom Porus biegt nur selten ein kurzer Kanal vom Hauptstamm ab. Der Inhalt dieses Kanalsystems ist

meist spärlich und erscheint „körnig und schwach plasmatisch gefärbt“; häufig sind „gelbe Exkremente“ in ihm erkennbar, die SCHUBOTZ für exkretorische Produkte hält. Auf Schnitten überzeugt man sich, daß die Kanäle eine eigene doppelt konturierte Wand besitzen. Der Hauptkanal ist bewimpert (Fig. 319) und entspricht offenbar der Afterröhre anderer Ciliaten (vgl. S. 308).

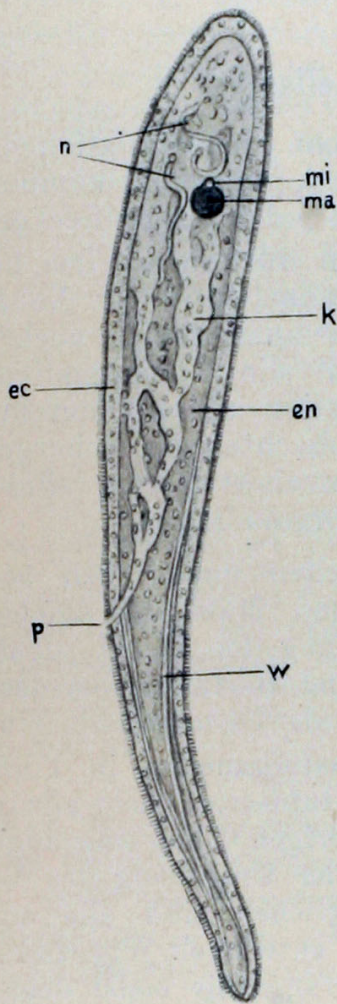


Fig. 318.



Fig. 319.

Fig. 318. **Pycnothrix monocystoides** SCHUBOTZ aus dem Dünndarm von *Hyrax capensis* PALL., ca. 2,2—3,2 mm lang. *ec* Ektoplasma (ca. 50 μ dick und in regelmäßiger Verteilung zahlreiche, ca. 8 μ große rundliche Bläschen enthaltend), *en* Endoplasma, *k* Kanalsystem, *ma* Großkern, *mi* Kleinkern, *n* zwei parasitische Nematoden im Endoplasma, *p* Mündung des Kanalsystems, *w* Wimperfurche. Vergr. ca. 31:1. Nach SCHUBOTZ 1908.

Fig. 319. **Pycnothrix monocystoides** SCHUBOTZ. Längsschnitt durch die den Mündungsabschnitt des Kanalsystems darstellende Afterröhre. Vergr. ca. 240:1. Nach SCHUBOTZ 1908.

Schließlich sind hier auch noch die „Exkretkörner“ anzuführen, kristallinische Einschlüsse, die sich nicht selten im Plasma der Protozoen finden und allem Anschein nach gespeicherte End-

produkte des Stoffwechsels darstellen, im übrigen aber noch weiterer Aufklärung bedürfen.

RHUMBLER (1883) glaubte bei *Stylonychia* den Nachweis erbracht zu haben, daß sie aus Harnsäure bestehen. Auch GRIFFITH (1889) will durch zahlreiche Versuche Harnsäure als Exkretionsprodukt von Amöben, Vorticellen und Paramäcien erkannt haben. SCHEWIAKOFF (1894) vermochte dagegen diese bestimmt lautenden Angaben nicht zu bestätigen und meint, daß die Exkretkörner von *Paramaecium* zum größten Teil aus phosphorsaurem Kalk bestehen (vgl. im übrigen S. 103).

Im Anschluß an diese Exkretkörner kann auch noch angeführt werden, daß im Plasma von Infusorien, die in schwefelwasserstoffhaltigen Gewässern leben, Ablagerungen von Schwefel in Form dunkler Körnchen auftreten.

VI. Empfindungsorganellen,

die ganz oder vorzugsweise einer bestimmten Sinnesfunktion dienen, sind bei den Protozoen sehr wenig verbreitet, immerhin kommen bei manchen Formen besondere Tastorganellen oder Augenflecken vor.

1. Tastorganellen. Im allgemeinen dürften die frei hervorragenden Bewegungsorganellen sowie die Organellen für die Nahrungsaufnahme der Sitz einer erhöhten, wenn auch meist noch nicht spezifischen Reizbarkeit sein. Daß speziell die Pseudopodien und Undulipodien neben ihrer motorischen Funktion unter anderem auch dem Tastsinn dienen, ist durch manche Beobachtungen sichergestellt, und wo sich besondere Tastorganellen nachweisen lassen, sind diese nichts anderes als spezialisierte Bewegungsorganellen.

a) Geißeln als spezifische Tastorganellen finden sich bei den Rhizomastiginen. Speziell bei *Mastigella* und *Mastigina* spielt nach GOLDSCHMIDT (1907) die Geißel für die Bewegung des Tieres „überhaupt keine Rolle“, während ihr ständiges Hin- und Hertasten bei der amöboiden Vorwärtsbewegung auf eine Funktion als Tastorganelle hinweist.

b) Auf Wimpern zurückzuführende Tastorganellen in Form unbeweglicher Tastborsten sind bei Wimper-Infusorien nicht allzuselten. Sie finden sich hier zerstreut zwischen den übrigen Cilien oder angehäuft an besonderen Stellen, besonders häufig in der Umgebung des Vorderendes oder am Hinterende; bei den Hypotrichen sind alle auf der Rückenfläche stehenden Cilien als Tastborsten entwickelt (Fig. 244). Wo Tastborsten zwischen anderen Cilien stehen, ragen sie meist über diese hervor.

Berührung der Tastborsten hat eine plötzliche heftige Bewegung des ganzen Infusors zur Folge. Daß es sich bei ihnen um modifizierte Cilien handelt, geht außer aus ihrem Bau (vgl. S. 239) auch aus ihrer Entwicklung hervor. Bei den Hypotrichen treten die Tastborsten nämlich zunächst als „kleine cilienähnliche, sich lebhaft bewegende Wimpergebilde“ hervor, und „erst während ihrer späteren Entwicklung, wenn sie ihre definitive Länge beinahe erreicht haben und auseinander rücken, werden sie steif und starr“ (WALLENGREN 1901). Bei *Stentor coeruleus* scheinen die Tastborsten nach JOHNSON (1893) gewissermaßen noch ein Uebergangsstadium von echten Cilien zu echten Tastborsten darzustellen, da sie häufig noch cilienartig bewegt werden, um dann plötzlich wieder als starre Tastborsten zu erscheinen.

c) Als Tastpseudopod bezeichnet SIEDLECKI (1901) ein eigenartiges Organell der frei im Darm ihres Wirtes lebenden *Lankesteria ascidia*, welches durch eine am vorderen Körperende befindliche kleine, scharf begrenzte Oeffnung in der Cuticula in Form eines kleinen Pseudopods durch Kontraktion des vorderen Körperabschnittes passiv hervorgepreßt wird. Es besteht aus hyalinem, keine feinere Struktur aufweisendem Protoplasma und wird vielfach, namentlich bei der Vorwärtsbewegung der Gregarine, weit hervorgestülpt, um auf einen Berührungsreiz hin langsam wieder zurückgezogen zu werden. Zur Aufnahme fester Nahrung wird es nie benutzt. Wohl aber dient es der Gregarine noch zur Anheftung am Darmepithel (Fig. 320).

Tastorganellen sind nach SCHAUDINN (1899) offenbar auch die fingerförmigen Pseudopodien von *Trichosphaerium* (Fig. 25, 5), die bei einer Dicke von 8 μ bis 90 μ lang werden. Dieselben führen fortwährend drehende und tastende Bewegungen aus, spielen aber im Gegensatz zu den Pseudopodien anderer Sarcodinen weder bei der Ortsbewegung noch bei der Nahrungsaufnahme eine Rolle. Die erstere erfolgt durch äußerst

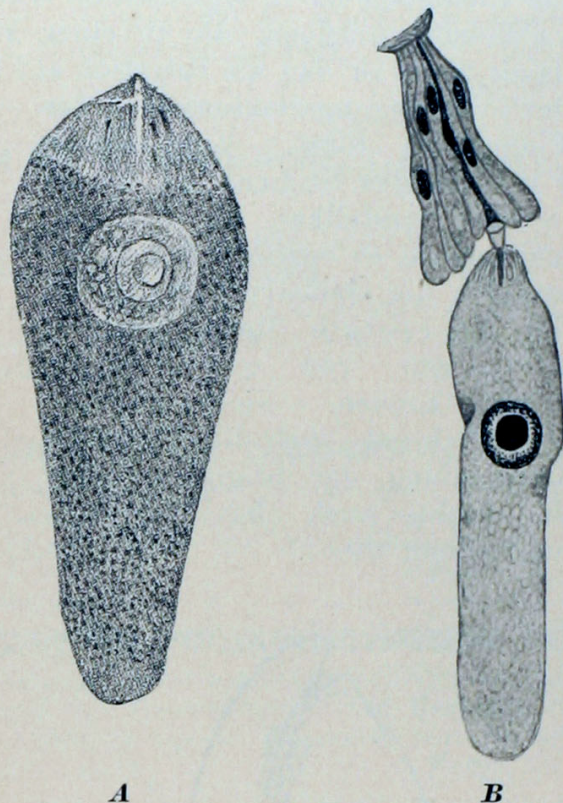


Fig. 320. *Lankesteria ascidia* (LANK.). **A** Erwachsene freie Darmgregarine; das Tastpseudopod am Vorderende nur wenig hervortretend. **B** Ein anderes Exemplar, das sich mit seinem Tastpseudopod oberflächlich an dem Darmepithel des Wirtes (*Ciona intestinalis*) angeheftet hat; die Epithelzelle, an der die Anheftung erfolgte, ist atrophiert. Nach SIEDLECKI 1901 aus DOFLEIN.

langsameres breites Vorwärtsfließen des Plasmas, das sich nur durch langsame Gestaltsveränderungen des Körpers dokumentiert und während dessen sämtliche Pseudopodien sich ungestört weiter drehen. Die Nahrungsaufnahme aber erfolgt ebenfalls ohne irgendwelche Beeinflussung der tastenden Pseudopodien derart, daß ein Fremdkörper, auf den das Tier bei seinen Wanderungen stößt, zwischen den Stäbchen an der klebrigen Gallerthülle kleben bleibt und das *Trichosphaerium* sich langsam über ihn hinüberwälzt und ihn so schließlich durch die Gallerthülle hindurch in sein Plasma hineinpreßt.

2. Augenflecken (Stigmata) finden sich bei manchen Euglenoiden (Fig. 18 A, 3 auf S. 16), Chrysomonadinen (Fig. 15, 7 auf S. 15), Volvocales (Fig. 19 auf S. 17) und Dinoflagellaten. Sie liegen stets in der Nähe des Vorderendes und fallen leicht auf durch die Anhäufung roten, schwarzroten oder schwarzen Pigmentes, dem sich nur in vereinzelt Fällen (vgl. Fig. 322) noch eine „Linse“ als lichtbrechendes Organell beigesellt.

Den feineren Bau des Augenfleckes haben WAGER (1899) und HAMBURGER (1911) bei *Euglena* untersucht. Er wird hier von roten

Pigmentkörnchen gebildet, die in einfacher Schicht in einer gewölbten, dorsal und seitlich vom Trichter gelegenen Fläche angeordnet sind (Fig. 321). Das von FRANCÉ (1893) für *Euglena* sowohl wie auch für zahlreiche andere Flagellaten behauptete Vorkommen von stark lichtbrechenden „Kristall- und Linsenkörpern“, die bei Euglenoideen aus Paramylum, bei den Phytoflagellaten (Volvocales) aus Amylum bestehen sollten, konnten neuere Untersucher nicht bestätigen. Dagegen scheint bei *Euglena* und verwandten Arten (wie z. B. *Eutreptia*) ein physiologischer Zusammenhang zwischen der Pigmentanhäufung und der ihr benachbarten, bereits auf S. 234 erwähnten Verdickung der Geißelwurzel zu bestehen. WAGER nimmt an, daß durch Vermittlung des Pigmentes die Lichtstrahlen in irgendeiner Weise eine Reizwirkung auf jene Geißelverdickung ausüben, die zu einer Veränderung der Geißelbewegung und damit auch zu den als Reaktion auf Belichtung auftretenden Änderungen der Bewegungsrichtung¹⁾ des Flagellaten führt. Eine solche Funktion des Stigmas ist um so leichter vorstellbar, als der Pigmentschirm es bedingt, daß Lichtstrahlen die Geißelverdickung, in der die reizbare Stelle vermutet wird, nur von einer Seite treffen können. Nicht unwahrscheinlich ist, daß die Pigmentansammlung der Stigmata außer der Licht- auch der Wärmeempfindung dient.

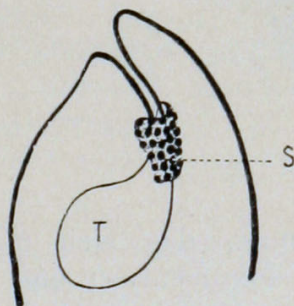


Fig. 321.

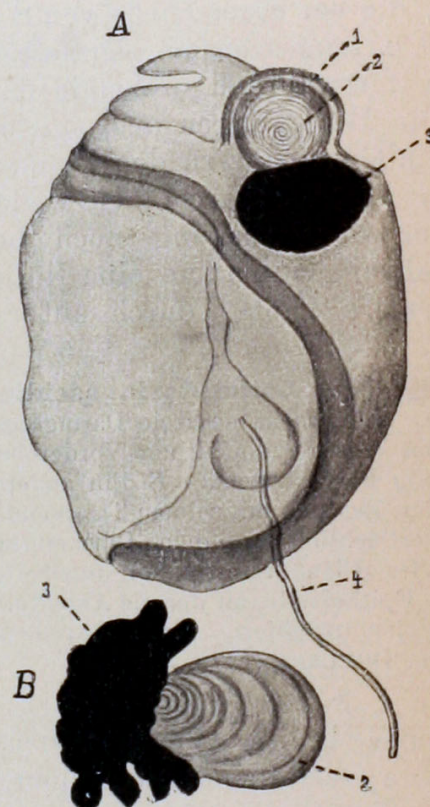


Fig. 322.

Fig. 321. **Vorderende von *Euglena ehrenbergi* KLEBS.** S Augenfleck, T Trichter. Nach HAMBURGER 1911, etwas verändert. Vgl. auch Fig. 236.

Fig. 322. **A *Pouchetia cornuta* SCHÜTT.** Ventralansicht nach dem Leben. 1 Plasmahaut, die die Linse des Stigma überzieht, 2 Linse, 3 Pigmentkörper des Stigma, 4 Längsgeißel. Vergr. 430:1. **B Stigma von *Pouchetia junio* SCHÜTT,** von einem unter dem Deckglas erkrankenden Tier. 2 Linse, 3 Pigmentkörper. Nach SCHÜTT 1895.

Das Stigma der Chrysomonadinen liegt im Gegensatz zu dem der Euglenoideen dem Chromatophor an (vgl. z. B. Fig. 15, D). Bei den Volvocales ist die diesbezügliche Lage wechselnd, z. B. am Vorderende dem Chromatophor anliegend bei *Chlamydomonas* (Fig. 19), zentral in allseitig maximaler Entfernung von dem ringförmigen Chromatophor bei dem nahe verwandten *Mesostigma*.

1) *Euglena* ist schwachem Licht gegenüber positiv, starkem Licht gegenüber dagegen negativ heliotropisch.

Untersuchungen über die Spermatogenese von *Paludina vivipara*.

Von Prof. Leopold Auerbach in Breslau. (Abdruck aus „Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaft“. Bd. 30 [N. F. Bd. 13]). Mit 2 Tafeln. 1896. Preis: 6 Mark.

Die Entwicklungsgeschichte der Kreuzotter. (Peliæ berus Merr.) Von Dr. med. Emil Ballowitz,

Professor an der Universität Münster i. W.

Teil I: Die Entwicklung vom Auftreten der ersten Furche bis zum Schlusse des Amnios. Mit 10 lithographischen Tafeln und 59 Textabbildungen (VI, 295 S. gr. 4^o). 1904. Preis: 40 Mark.

Das elektrische Organ des afrikanischen Zitterwelses (*Malopterurus electricus Lacépède*).

Anatomisch untersucht von Dr. Emil Ballowitz, a. o. Prof. der Anatomie an der Universität Greifswald. Mit 7 lithographischen Tafeln und 3 Holzschnitten im Text. (gr. 4^o). 1899. Preis: 24 Mark.

Untersuchungen über den Bau der Brachiopoden. Von Dr. Friedrich Blochmann, Prof. an der Universität Tübingen.

Erster Teil. Die Anatomie von *Crania anomala* O. F. M. Mit einem Atlas von 7 Tafeln und 7 Blatt Erklärungen. (gr. 4^o). 1892. Preis: 25 Mark.

Zweiter Teil. Die Anatomie von *Discinisca Lamellosa* (Broderip) und *Lingula Anatina Bruguière*. Mit einem Atlas von 12 lithographischen Tafeln und 14 Abbildungen im Text. (gr. 4^o). 1900. Preis: 30 Mark.

Die Potenzen der *Ascaris*-Blastomeren bei abgeänderter Furchung.

Zugleich ein Beitrag zur Frage qualitativ-ungleicher Chromosomen-Teilung. Von Theodor Boveri, Würzburg. (Abdruck aus „Festschrift zum sechzigsten Geburtstag Richard Hertwigs“. Bd. III.) Mit 6 Tafeln und 24 Textfiguren. 4^o. 1910. Preis: 15 Mark.

Tatsächliches aus der Entwicklung des Extremitätenskelettes bei den niederen Formen.

Zugleich ein Beitrag der Entwicklungsgeschichte des Skelettes der Pinnæ und der Visceralbögen. Von Hermann Braus. Mit 2 Tafeln und 13 Textfiguren. (Abdruck aus der Festschrift zum 70. Geburtstage von Ernst Haeckel.) (gr. 4^o). 1904. Preis: 10 Mark.

Lebensgewohnheiten und Anpassungen bei dekapoden Krebsen.

Von F. Doflein, München. Mit 4 Tafeln und 16 Textfiguren. (Abdruck aus der „Festschrift zum 60. Geburtstag Richard Hertwigs“. Bd. III.) 4^o. 1910. Preis: 11 Mark.

Morphogenetische Studien.

Als Beitrag zur Methodologie zoologischer Forschung. Von Tad. Garbowsky. Mit 6 chromolithographischen Tafeln. (gr. 4^o). 1903. Preis 28 Mark.

Beiträge zur Physiologie der marklosen Nerven.

Nach Untersuchungen am Riechnerven des Hechtes. Von Siegfried Garten, Privatdozent und Assistent am physiologischen Institut zu Leipzig. Mit 15 Tafeln und 20 Textfiguren. (gr. 4^o). 1903. Preis: 30 Mark.

Die Embryonalentwicklung von *Hydrophilus Piceus* L.

Von Privatdozent Dr. Karl Heider. Herausgegeben mit Unterstützung der Kgl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Erster Teil. Mit 13 lithographischen Tafeln und 9 Textabbildungen. (VI, 98 S., gr. 4^o). 1889. Preis: 20 Mark.

Das Visceralskelett und seine Muskulatur bei den einheimischen

Amphibien und Reptilien. Von Dr. Ferdinand Walter. Gekrönte Preisschrift. (Abdruck aus der Jenaischen Zeitschrift für Naturwissenschaft, Bd. 21.) Mit 4 Tafeln. 1887. Preis: 4 Mark.

Archiv für Protistenkunde begründet von Dr. Fritz Schaudinn, herausgegeben von Dr. M. Hartmann, Berlin und Dr. S. von Prowazek, Hamburg.

Das Archiv für Protistenkunde ist eine rein wissenschaftliche Zeitschrift, die alle Zweige des sich immer mehr ausdehnenden Gebietes der Einzelligen in gleichmäßiger Weise berücksichtigt und daher den Zoologen und Botaniker, den Zell- und Gewebeforscher, den Anatomen und Physiologen, den Pathologen und Hygieniker in gleicher Weise angeht.

Das Archiv für Protistenkunde bringt in erster Linie Originaluntersuchungen über alle Gruppen der Protophyten und Protozoen, von den Bakterien bis zu den Infusorien, soweit sie die Biologie dieser Organismen fördern.

Um den Ueberblick über das Gebiet zu erleichtern und die Wechselbeziehungen zwischen den verschiedenen Zweigen der Protistenforschung zu pflegen, werden in einem referierenden Teil zusammenfassende Uebersichten und Literaturberichte von berufener Feder gegeben.

Das Archiv für Protistenkunde erscheint in zwanglosen Heften; je 3 Hefte bilden einen Band.

Bis Juli 1913 ist erschienen:

1902—1908: Bd. 1—13: Preis eines Bandes: 24 Mark.

1909: Bd. 14—15: Preis eines Bandes: 24 Mk.; Bd. 16: 32 Mk.; Bd. 17: 29 Mk.

1910: Bd. 18: 21 Mk.; Bd. 19: 25 Mk.; Bd. 20: 30 Mk.

1911: Bd. 21: 29 Mk.; Bd. 22: 34 Mk.; Bd. 23: 25 Mk.; Bd. 24: 31 Mk.

1912: Bd. 25: 27 Mk.; Bd. 26: 43 Mk.; Bd. 27: 27 Mk.; Bd. 28: 34 Mk.; Bd. 29: 31 Mk.

Gesamtpreis für Band 1—29: 778 Mark.

— **Supplement I. Festband zum 25jährigen Professoren-Jubiläum des Herrn Geh. Hofrat Prof. Dr. Richard Hertwig.** Mit 19 Tafeln und 56 Textfiguren. 1907. (VIII und 293 Seiten.) Preis: 20 Mark.

Inhalt: **Die Fortpflanzung der Opalinen.** Von Eugen Neresheimer. Mit 3 Tafeln und 2 Textfig. — **Depression der Protozoenzelle und der Geschlechtszellen der Metazoen.** Von Methodi Popoff. Mit 1 Tafel und 5 Textfig. — **Lebensgeschichte der Mastigamöben Mastigella vitrea n. sp. und Mastigina setosa n. sp.** Von Richard Goldschmidt. Mit 5 Tafeln und 20 Textfig. — **Observations on the Protozoa in the Intestine of Mice.** Von C. M. Wenyon. Mit 3 Tafeln und 1 Textfig. — **Beobachtungen über vegetative, degenerative und germinative Vorgänge bei den Gregarinen des Mehlwurmdarms.** Von Sergius Kuschakewitsch. Mit 4 Tafeln und 12 Textfig. — **Studien zur Naturgeschichte der Protozoen. V: Amöbenstudien.** Von F. Doflein. Mit 3 Tafeln und 16 Textfig.

— **General-Register zu Bd. 1—20 und Supplement 1 (1902—1910)** zusammengestellt von Dr. Rh. Erdmann und H. Sachs. 1912. Preis: 5 Mark.

Studien an intracellularen Symbionten. Von Dr. phil. Paul Buchner, Privatdozent an der Universität München. **I. Die intracellularen Symbionten der Hemipteren.** Mit 12 Tafeln und 29 Abbildungen im Text. (Sonderabdruck aus „Archiv für Protistenkunde“, begründet von Fritz Schaudinn, herausgegeben von Dr. M. Hartmann und Dr. S. von Prowazek. XXVI. Band.) 1912. Preis: 18 Mark.

Die Synchytrien. Studien zu einer Monographie der Gattung. Von Dr. Gertrud Tobler geb. Wolff, Münster i. W. Mit 4 Tafeln. (Abdruck aus „Archiv für Protistenkunde“, Bd. 28.) 1913. (IV, 98 S. gr. 8°.) Preis: 5 Mark.

Die Cestoden der Vögel. Von O. Fuhrmann, Neuchâtel. (Zoologische Jahrbücher. Supplement X, Heft 1.) 1908. Preis: 8 Mark.

Die blutsaugenden Dipteren. Leitfaden zur allgemeinen Orientierung, mit besonderer Berücksichtigung der in den deutschen Kolonien lebenden Krankheitsüberträger. Von Dr. Karl Grünberg, Assistent am zoolog. Museum in Berlin. Mit 127 Abbildungen im Text. 1907. (VI, 188 S. gr. 8°.) Preis: 4 Mark 50 Pf.

Inhalt: **Allgemeiner Teil.** — **Systematischer Teil.** Psychodidae. Culicidae. Chironomidae. Simuliidae. Tabanidae. Leptididae. Therevidae. Midasidae. Asilidae.

HANDBUCH DER MORPHOLOGIE DER WIRBELLOSEN TIERE

BEARBEITET VON

Dr. CARL BÖRNER, Naumburg a.S.; Prof. E. BUGNION, Blonay s. Vevey;
Dr. MARIE DAIBER, Zürich; Prof. W. GIESBRECHT †, Neapel; Prof.
E. A. GÖLDI †, Bern; Prof. VALENTIN HAECKER, Halle a. S.; Prof. KARL
HESCHELER, Zürich; Prof. ARNOLD LANG †, Zürich; Prof. M. LUHE †,
Königsberg; Prof. O. MAAS †, München; Dr. S. TSCHULOK, Zürich
und Prof. J. WILHELMI, Berlin-Dahlem

HERAUSGEGEBEN VON

ARNOLD LANG †
ZÜRICH

FORTGEFÜHRT VON

KARL HESCHELER
ZÜRICH

ZWEITE BEZW. DRITTE AUFLAGE
VON ARNOLD LANG'S LEHRBUCH DER VERGLEICHENDEN ANATOMIE
DER WIRBELLOSEN TIERE.

ERSTER BAND. PROTOZOA

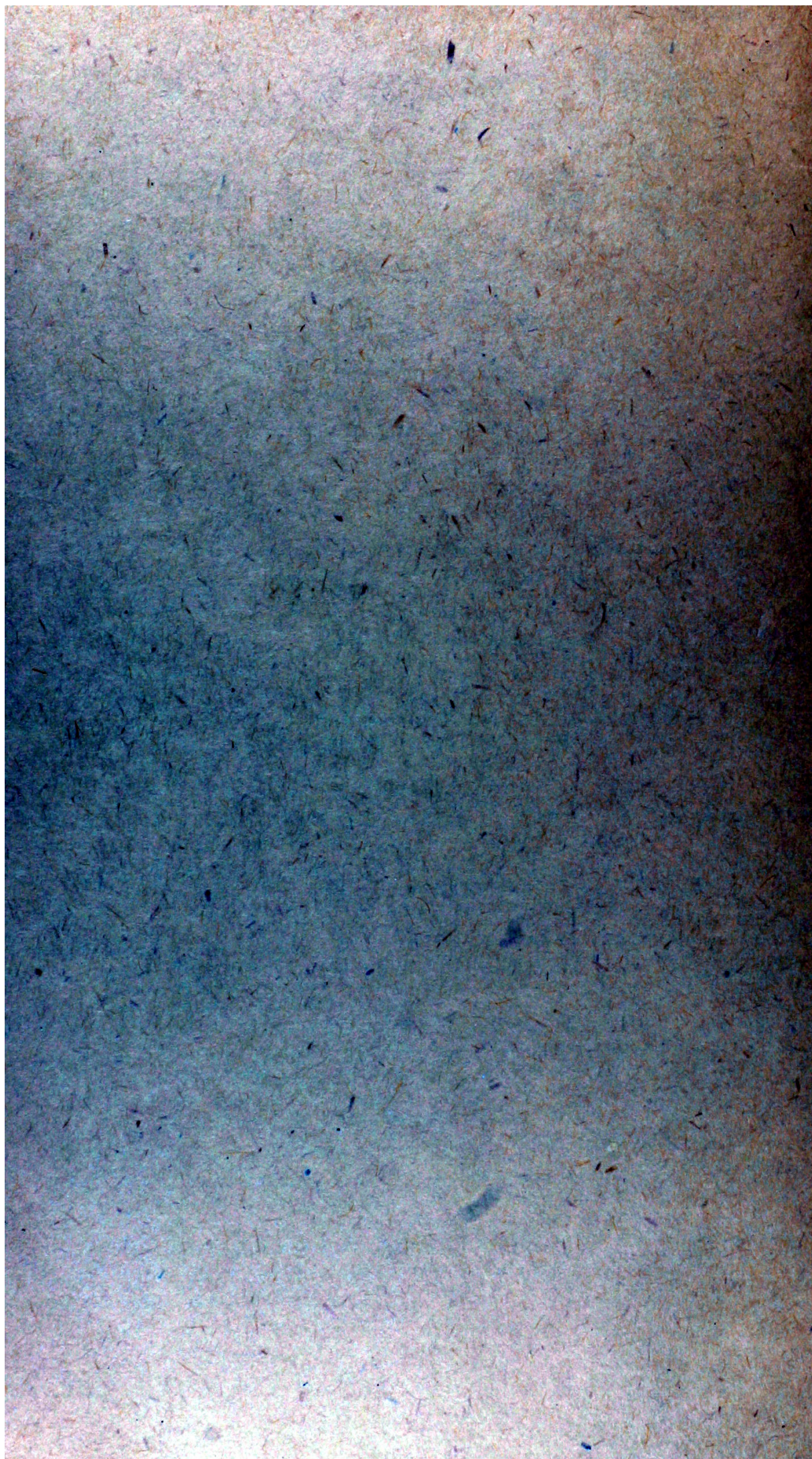
Dritte Lieferung

Mit 68 Abbildungen im Text

(Inhalt umstehend)



JENA
VERLAG VON GUSTAV FISCHER
1921



Unter den Dinoflagellaten finden sich ähnliche Organellen bei den Süßwasserformen *Glenodinium* und *Gymnodinium* und bei der mit letzterem verwandten chlorophyllfreien marinen Gattung *Pouchetia*. Der von SCHÜTT (1895) genauer untersuchte Augenfleck von *Pouchetia* ist demjenigen der Euglenoideen, Chrysomonadinen und Volvocales gegenüber wesentlich vervollkommenet durch das Hinzutreten eines lichtbrechenden Apparates (Fig. 322). Er besteht aus einer meist kugeligen Ansammlung von rotschwarzem oder braunschwarzem Pigment und einem diesem Pigmentkörper angelagerten, durchsichtigen, fast oder ganz farblosen, ebenfalls kugeligen, sehr stark lichtbrechenden und deutlich geschichteten Einschluß des Ektoplasmas, der als Linse bezeichnet wird. Bei *Pouchetia cornuta*, die wir als Beispiel wählen, ist der Augenfleck nach vorn gerichtet; seine Linse ist von einer dünnen Lage von Protoplasma überzogen und gegen den Pigmentkörper etwas abgeflacht. Ueber die chemische Natur der Linsensubstanz ist man nicht unterrichtet. Bei *Pouchetia rosea* konnte SCHÜTT feststellen, daß der Pigmentkörper, der einen mit schwarzer Flüssigkeit erfüllten Hohlraum darstellte, nach einigem Verweilen unter dem Deckglas (das stets sehr schädigend auf die marinen Dinoflagellaten wirkt) seine Form so veränderte, daß sich an einzelnen Stellen des Umfangs Ausstülpungen bildeten, bis schließlich der Hauptkörper des Pigmentfleckes eine Menge amöboid sich ausbreitender und sich verzweigender Ausstülpungen besaß.

Bei *Volvox* sind die Augenflecke der Einzelzellen innerhalb der Kolonie nicht durchweg gleich groß. Trotz der Kugelform ist bei der Bewegung stets dieselbe Seite der Kolonie nach vorn gewandt und auf dieser sind die Augenflecke interessanterweise größer wie an der gegenüber liegenden.

Im Anschluß an diese Empfindungsorganellen sei noch kurz die Frage der

Reizleitung

berührt.

Daß Reize im Protozoenkörper in bestimmter Weise fortgeleitet werden können, ist sicher. Versuche hierüber sind speziell bei Wimperinfusorien angestellt. Hier schlagen die in einer Reihe stehenden Wimpern in gesetzmäßigem Metachronismus (vgl. S. 98). Die Koordination dieser Bewegung wird bedingt durch die Fortleitung eines Reizes in der Richtung der Wimperreihe. Daß diese Reizleitung in den oberflächlichen Plasmaschichten erfolgen muß, geht daraus hervor, daß sie durch eine Durchtrennung dieser oberflächlichen Schichten, die den übrigen Körper intakt läßt, bereits unterbrochen wird. Nach einer solchen Durchtrennung schlagen nämlich die hinter der oberflächlichen Wunde gelegenen Wimpern in einem von dem der vorderen Wimpern unabhängigen Rhythmus.

Im übrigen ist jedoch über Reizleitung bei Protozoen wenig Sicheres bekannt. NERESHEIMER (1903) glaubte bei *Stentor* besondere, reizleitende Fibrillen, die er Neurophane nannte, zwischen den Myonemen nachweisen zu können; indessen konnte SCHROEDER (1907) diese Angaben nicht bestätigen.

Zusatz bei der Korrektur: In einer während des Druckes erschienenen Arbeit beschreibt SHARP (1914) bei dem im Magen von Wiederkäuern lebenden Ophryoscoleciden *Diplodinium ecaudatum*

einen sehr eigentümlichen neuromotorischen Apparat. Eine kleine, speziell differenzierte und sich bei Färbung nach MALLORY intensiv rot färbende Plasmamasse, die als zentrales „Motorium“ gedeutet wird, soll nahe dem Vorderende zwischen den adoralen Membranellen und den für Diplodinium charakteristischen „dorsalen Membranellen“ liegen und verschiedene Fasern entsenden. Eine dieser Fasern soll zu der Basis der adoralen Membranellen ziehen, eine andere zu derjenigen der dorsalen Membranellen, eine dritte zu einem den Cytopharynx umkreisenden feinen Ring, während wieder andere in das oberflächliche Ektoplasma des zwischen adoralen und dorsalen Membranellen gelegenen „Operculum“ hineinziehen. Auch in der Wandung des Cytopharynx wurden längs verlaufende Fasern gefunden, von denen es aber zweifelhaft gelassen wird, ob sie aus dem „periösophagealen Ringe“ oder direkt aus dem „Motorium“ entspringen. Alle diese Fasern zeigten dieselbe Farbreaktion wie das „Motorium“.

E. Fortpflanzung und Befruchtung.

Bei den Metazoen stehen Fortpflanzung und Befruchtung in engem Zusammenhang miteinander. An die Befruchtung schließt sich eine lebhafte Zellvermehrung an, und hierdurch wird dieselbe der Ausgangspunkt für die Entstehung eines neuen Individuums. Indessen ist dies offenbar nur die Folge davon, daß eine Befruchtung nur auf dem einzelligen Stadium möglich ist. Bei den dauernd einzelligen Protozoen besteht jedenfalls ein derartiger Zusammenhang zwischen jenen beiden Erscheinungen nicht; beide sind vielmehr zunächst durchaus unabhängig voneinander, wenn sie sich auch bei verschiedenen Formen in sehr verschiedener Weise gegenseitig beeinflussen können. Nicht selten wirkt die Befruchtung in direktem Gegensatz zu dem Verhalten der Metazoen hemmend auf die Fortpflanzung ein (Verlangsamung der Teilungen bei Infusorien, Bildung ruhender Dauercysten bei Actinosphaerium und Phytomonadinen [Volvocales] im Anschluß an die Befruchtung). Andererseits kann eine besondere Form der Fortpflanzung der Befruchtung vorausgehen oder nachfolgen (progame bzw. metagame Vermehrung) und hierdurch ein mehr oder weniger stark ausgeprägter Generationswechsel bedingt werden.

Die in den beiden letzten Jahrzehnten — nicht am wenigsten durch die epochemachenden Arbeiten von SCHAUDINN — ganz besonders geförderte Erforschung der Fortpflanzungs- und Befruchtungsvorgänge bei den Protozoen ist von der weittragendsten Bedeutung, nicht nur für diese spezielle Tiergruppe, sondern für das ganze Tierreich, ja für die gesamte Organismenwelt.

I. Fortpflanzung.

Die Formen der Fortpflanzung der Protozoen sind außerordentlich mannigfaltig, und auch bei ein und derselben Protozoenart können verschiedene Fortpflanzungsformen in mehr oder weniger regelmäßigem Wechsel nebeneinander vorkommen.

Im Interesse einer übersichtlichen Darstellung können wir als Hauptformen unterscheiden: 1) Zweiteilung, 2) Knospung,

3) multiple Teilung oder Vielteilung, 4) Plasmotomie oder Zerfallteilung. Die drei letzteren lassen sich, wie unten zu zeigen ist, sämtlich von der einfachen Zweiteilung ableiten.

Stets geht die Teilung des Kernes der Teilung des Zelleibes zeitlich voraus; die letztere kann sich dann unmittelbar anschließen oder auch erst nach längerer Zeit erfolgen. Hinsichtlich der Art der Kernteilung kann hier auf S. 145—152 verwiesen werden.

Die Vermehrung kann im nackten und dann meist auch frei beweglichen sowohl wie auch im encystierten Zustande (vgl. S. 161 ff.) erfolgen. Im letzteren Falle erfolgt meist multiple Teilung, seltener Zweiteilung.

Besonders bemerkenswert ist, daß die Vermehrung mancher Protozoen sich ausschließlich während der Nachtzeit vollzieht (z. B. *Haematococcus*, *Ceratium*, *Trichosphaerium*, *Arcella*, *Euglypha*).

1. Zweiteilung (Hemitomie).

Die Zweiteilung, bei der die Teilung des Plasmakörpers derjenigen des Kernes unmittelbar folgt und die beiden entstehenden Tochterindividuen entweder gleich groß und gleich organisiert oder doch einander sehr ähnlich sind, ist die häufigste und wohl auch ursprünglichste Fortpflanzungsweise der Protozoen.

Rasch aufeinander folgende Teilungen können zu einer erheblichen Größenabnahme der Tiere führen. Als Beispiel sei *Haemoproteus noctuae* genannt, bei dem nach SCHAUDINN (1904) mehrtägige Wachstumsperioden und Perioden lebhafter Vermehrung durch rasch folgende Zweiteilungen regelmäßig miteinander abwechseln sollen (vgl. auch unten unter Vielteilung).

Die einfachste Form einer solchen Zweiteilung haben wir bereits bei Besprechung der Amöbe auf S. 67, Fig. 90 kennen gelernt. Je komplizierter nun aber die Organisation des Protozoons wird, um so mehr muß sich auch der Verlauf seiner Teilung komplizieren, wie dies die nachstehenden Beispiele lehren.

A. Die Teilungsrichtung kann bei Protozoen ohne konstante Eigenform (Amöbe) naturgemäß keine bestimmte sein. Formen mit konstanter Eigenform zeigen dagegen meist eine polare Differenzierung des Plasmas, die es ermöglicht, eine Hauptachse des Körpers zu unterscheiden. Meist (aber nicht immer) fällt diese Hauptachse mit der Längsachse des Körpers und bei beweglichen Formen mit der Richtung, in der die Bewegung erfolgt, zusammen. Die Teilung erfolgt stets in bestimmter Richtung zu dieser Hauptachse, und zwar ist sie entweder eine Längsteilung oder eine Querteilung.

Bei der Längsteilung fällt die Hauptachse in die Teilungsebene. Sie ist charakteristisch für die Flagellaten (Fig. 214, S. 212), findet sich dementsprechend auch bei geißeltragenden Stadien der Rhizopoden, soweit diese fortpflanzungsfähig sind (z. B. *Paramoeba*, vgl. S. 73), und kommt außerdem auch bei einzelnen weichschaligen Thecamöben (z. B. *Cochliopodium*, *Pseudodiffugia*), den Peritrichen und den sogenannten „Sporen“ der *Sarcosporidien* vor. Fast stets beginnt die Teilung des Zellkörpers dann an dem vorderen Körperpole und schreitet von dort aus allmählich

weiter vor, so daß die beiden Tochterindividuen, bevor sie sich völlig voneinander lösen, zuletzt nur noch mit ihren Hinterenden zusammenhängen (Fig. 214, vgl. auch Fig. 324).

Die Endstadien dieses Teilungsvorganges können unter Umständen äußerlich den irrümlichen Eindruck erwecken, als ob eine Querteilung erfolge, wenn nämlich die beiden nur noch an ihren Hinterenden zusammenhängenden Tochterindividuen so stark auseinanderweichen, daß sie sich von der Vereinigungsstelle nach direkt entgegengesetzten Seiten wenden (z. B. bei Trypanosomen nicht selten zu beobachten) — oder wenn die Teilung innerhalb einer ovalen schützenden Hülle erfolgt (vgl. S. 164 und S. 334) und sich der Flagellat während der Teilung in dieser Hülle um 90° dreht (z. B. bei Chlamydomonas, Fig. 19, 4—6 auf S. 17).

Bei den Dinoflagellaten wird die Teilungsebene in der Regel durch die Panzerung aus der Längsrichtung abgelenkt und liegt dann mehr oder weniger schräg (vgl. Fig. 329 und 330), so daß sogar nicht selten den Dinoflagellaten im Gegensatz zu den Euflagellaten eine Querteilung zugeschrieben wird. Offenbar handelt es sich aber nur um eine durch die Formverhältnisse des ganzen Organismus und die Ausbildung des Cellulosepanzers bedingte Modifikation der Längsteilung (vgl. Fig. 331).

Bei der Querteilung liegt die Teilungsebene senkrecht (oder doch wenigstens annähernd senkrecht) zu der Hauptachse des Körpers, die demnach von ihr halbiert wird. Infolgedessen muß von den beiden Tochterindividuen das eine ein Hinter- und das andere ein Vorderende neu bilden, wodurch ein komplizierterer Ablauf der ganzen mit der Fortpflanzung in Zusammenhang stehenden Erscheinungen bedingt wird. Eingeleitet wird die Querteilung in der Regel durch eine den Körper umgürtende Ringfurche (Fig. 131, S. 118, Fig. 325—327 u. a.). Charakteristisch ist sie vor allem für die Ciliaten (mit Ausnahme der meisten Peritrichen).

Auch bei den Spirochäten erfolgt die Vermehrung durch Querteilung, so daß diese hierdurch in einen scharfen Gegensatz zu den Flagellaten treten, mit denen sie eine Zeitlang von einzelnen Protozoenforschern in Beziehung gebracht wurden, bei denen aber Querteilung als normale Fortpflanzungsform kaum vorkommt (für eine Craspedomonade, *Codonosiga*, haben KENT und FRANCÉ [1897] eine ungleichhälftige Querteilung angegeben, die aber wohl kaum als normal angesehen werden kann).

Als Querteilung muß auch die auf S. 334 ff. besprochene „Knospungsteilung“ der Thecamöben betrachtet werden.

B. Das Verhalten der Organellen bei der Teilung ist für deren Verlauf von ganz besonderer Wichtigkeit. Drei verschiedene Möglichkeiten liegen vor:

1) Die Organellen teilen sich zugleich mit dem Plasmakörper. Verhältnismäßig selten. Als Beispiel möge die Teilung der Hülle bei *Trichosphaerium* (Fig. 387, 1A und 1A') und bei *Acanthocystis* (Fig. 323) dienen; ähnlich verhalten sich auch die weichhäutigen Schalen einzelner Thecamöben (z. B. *Cochliopodium* und *Pseudodiffugia*) und die Zentralkapsel der Radiolarien (Fig. 104, S. 86).

2) Die alten Organellen erhalten sich und werden dem einen Tochterindividuum zugeteilt, während das andere Individuum die entsprechenden Organellen neu bilden muß. Der weitaus häufigste und

deshalb nachstehend an einigen ausgewählten Beispielen noch näher zu besprechende Fall.

3) Die alten Organellen verschwinden, und es werden in jedem Tochterindividuum neue gebildet.

So ziehen z. B. die Heliozoen vor der Teilung stets ihre Pseudopodien vollständig ein (Fig. 323). Bei Amöben ist das gleiche aber durchaus nicht immer der Fall (vgl. Fig. 90, S. 67).

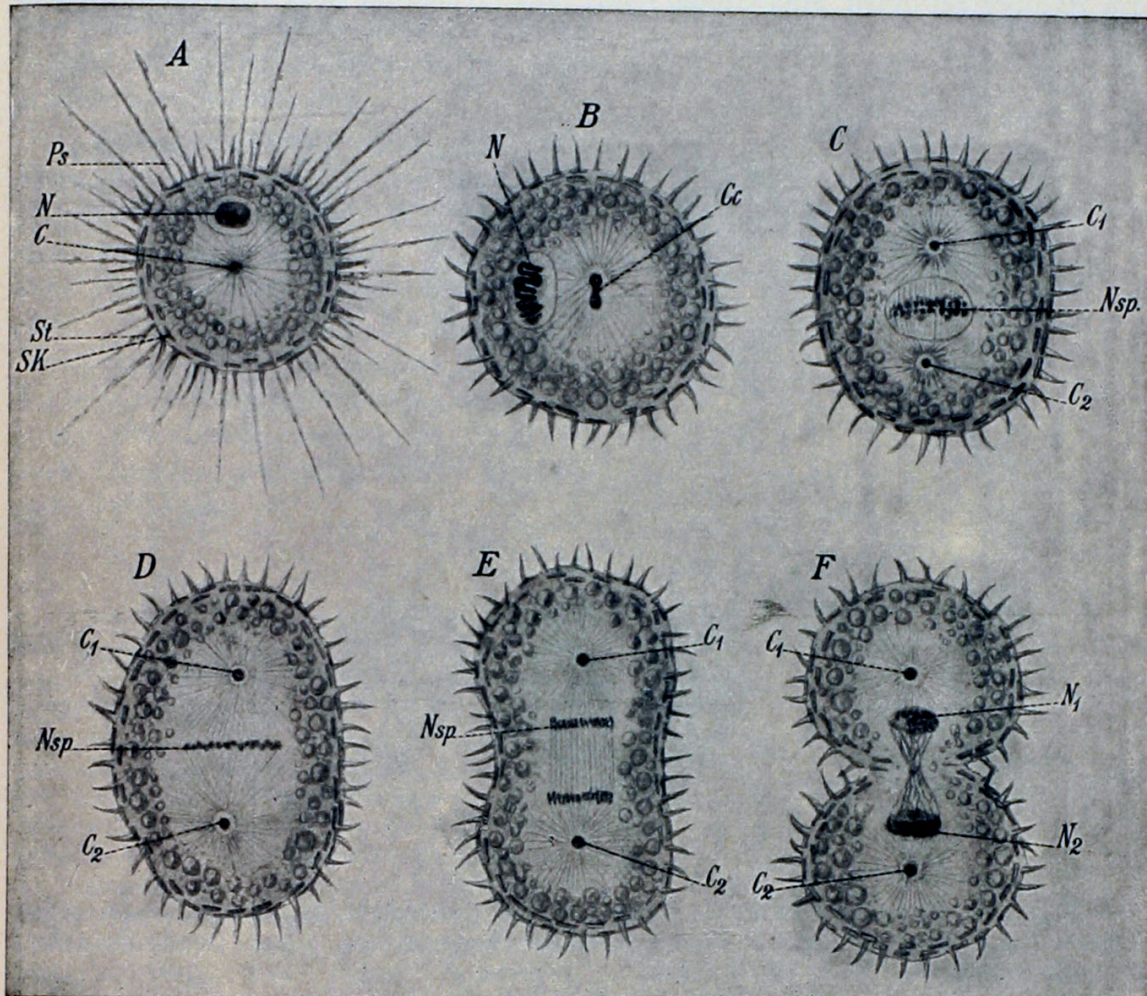


Fig. 323. *Acanthocystis aculeata* HERTW. u. LESS. A Ruhendes Heliozoon. B–F Fünf aufeinander folgende Teilungsstadien. C Zentralkorn des ruhenden Tieres, Cc Teilung des Zentralkorns, C₁ und C₂ Zentralkorn der beiden Sprößlinge, N ruhender Kern bzw. Knäuelstadium des Kernes, Nsp Äquatorialplatte und deren Teilung, N₁ und N₂ Bildung der beiden Tochterkerne, Ps Pseudopodien, St tangentiale Kieselnadeln, SK radiäre Kieselstacheln. Nach SCHAUDINN 1896 aus DOFLEIN.

Ein verhältnismäßig einfaches Beispiel für Resorption der alten Organellen bieten auch die Craspedomonaden nach den Untersuchungen von FISCH (1885) über *Codosiga botrytis* EHRBG., eine koloniebildende Art mit einem Büschel kurzgestielter Einzeltiere auf einem gemeinsamen Stiele (Fig. 324). Nach der Teilung des Kernes werden Geißel und Kragen vollständig eingezogen. Sobald sich dann am Vorderende die erste Andeutung der Teilungsfurche des Plasmakörpers zeigt, treten auch die Anlagen der beiden neuen, zunächst noch ganz niedrigen Kragen zu beiden Seiten jener Furche auf, denen erst später die Anlagen der neuen Geißeln folgen. Die Art besitzt zwei im gleichen

Querschnitt gelegene kontraktile Vakuolen, zwischen denen sich eine große nicht-kontraktile Vakuole findet. Wenn nun die Teilungsfurche vom Vorderende aus tiefer einschneidet, schwindet diese nicht-kontraktile Vakuole vollständig, während die beiden pulsierenden Vakuolen auf die beiden Tochterindividuen verteilt werden (Fig. 324, *D*). In jedem von diesen muß dann die nicht-kontraktile und eine pulsierende Vakuole neu gebildet werden. — In ähnlicher Weise geht bei *Noctiluca* der Teilung ein Schwund der Organellen voraus: die Peristomfurcher verstreicht und die Bandgeißel wird eingezogen; nur das Cytostom soll offen bleiben und

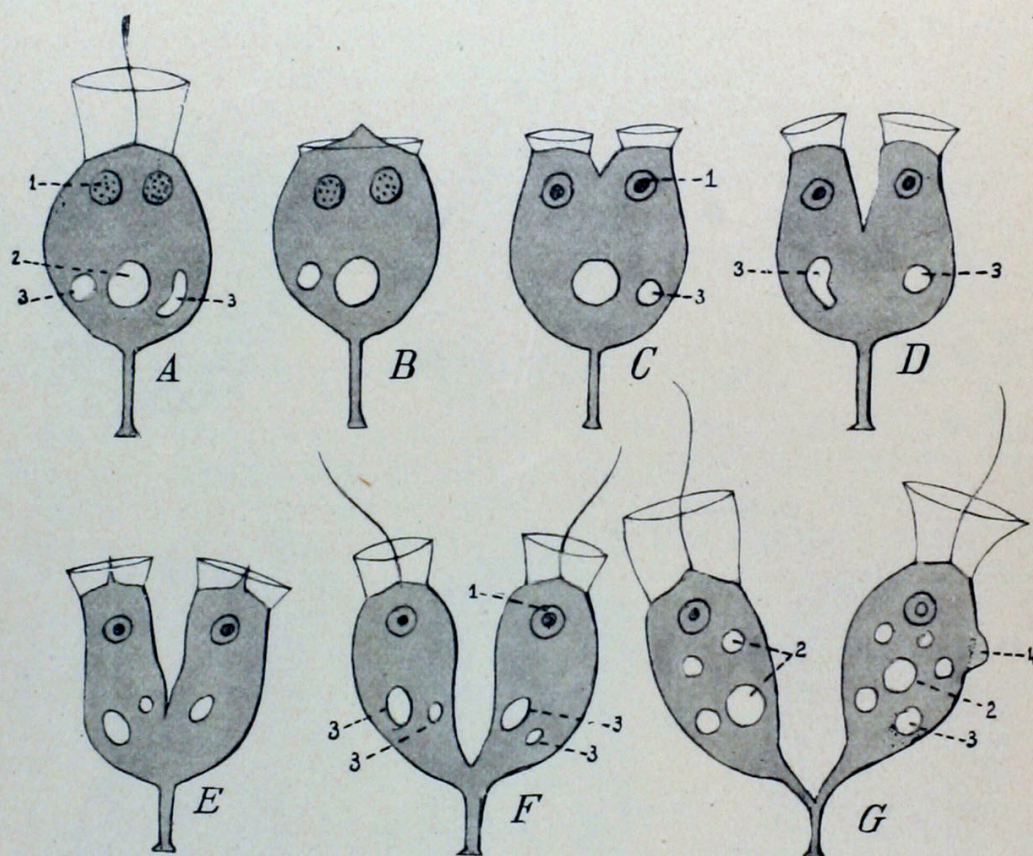


Fig. 324. *Codosiga botrytis* EHRBG. Sieben aufeinander folgende Teilungsstadien. 1 Kerne (in *A* bereits geteilt), 2 nicht-kontraktile Hauptvakuole, 3 pulsierende Vakuolen, 4 Empfangsvakuole. Nach FISCH 1885.

von der median durchschneidenden Teilungsfurche gleich dem Plasmakörper halbiert werden; indessen bedarf diese alte Angabe der Bestätigung.

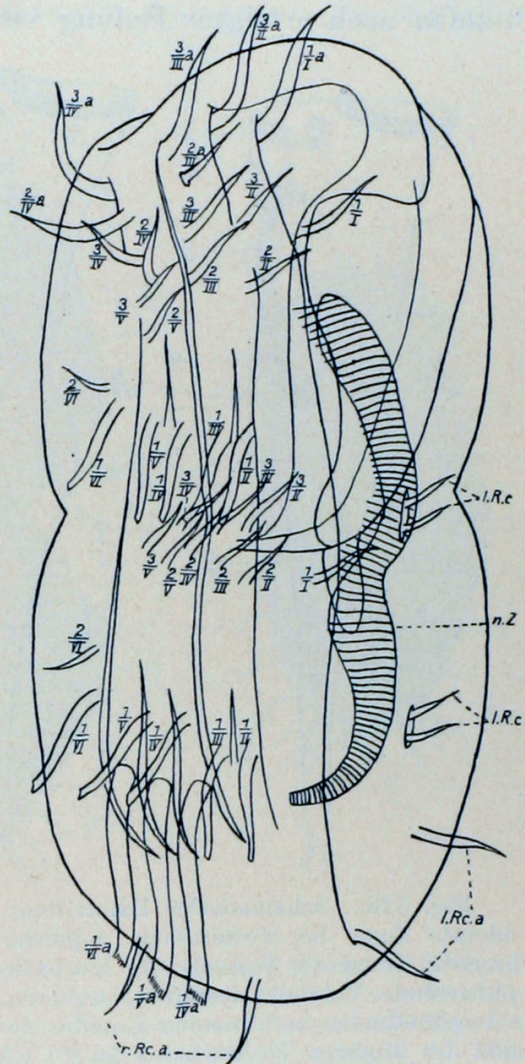
Bei größerer Zahl der zur Resorption gelangenden Organellen werden die Teilungsbilder erheblich komplizierter. Ein sehr instruktives Beispiel hierfür liefern die hypotrichen Infusorien, deren ganzes Wimperkleid bei der Teilung resorbiert wird, um von den beiden Sprößlingen in kleineren Maßverhältnissen neu gebildet zu werden entsprechend ihrer eigenen durch die Teilung wesentlich geringer gewordenen Größe. Im Interesse dauernder Funktionsfähigkeit des Wimperkleides geht hierbei die Neubildung der Resorption voraus (Fig. 325, vgl. auch Fig. 337). Die Resorption selbst geht in der Weise vor sich, daß im Umkreise der Basis der Cirren die Pellicula erweicht und hierauf die Cirren allmählich durch die so entstandene Oeffnung zurückgezogen werden; während also ihr unterer Teil im Plasma schwindet und resorbiert wird, sind sie mit dem freien Ende noch immer in Bewegung.

Neubildung von (wenigstens einzelnen) Organellen findet bei jeder Teilung statt und ist neben dem Verhalten der Körperhülle, die ja sehr häufig auch eine wenigstens teilweise Neubildung erfährt, wesentlich mitbestimmend für den Verlauf des ganzen Teilungsvorganges. Wir müssen dieselbe deshalb jetzt im einzelnen an der Hand ausgewählter Beispiele besprechen.

1) Pulsierende Vakuole. Schon die Teilung der *Amöbe* geht nicht ohne Neubildung von statten, indem die pulsierende Vakuole des Muttertieres dem einen Sprößling zufällt und der andere daher eine solche neu bilden muß.

Ebenso verhält sich die pulsierende Vakuole auch bei allen anderen Protozoen, bei denen sie in der Einzahl vorkommt. Findet sie sich dagegen in Mehrzahl, so erhält jeder Sprößling eine Hälfte dieser Vakuolen, um die andere neu zu bilden, wie wir dies schon an dem Beispiel von *Paramecium* (S. 119) und *Codosiga* (Fig. 324) kennen gelernt haben.

Fig. 325. **Aelteres Teilungsstadium von *Euplotes harpa*.** Die einzelnen Cirren sind durch Bruchziffern bezeichnet, deren Zähler die Querreihe (von hinten aus gerechnet) und deren (römischer) Nenner die Längsreihe angibt (vgl. auch Fig. 307 u. 308). Bei den noch nicht resorbierten Cirren des Muttertieres ist diesem Bruche ein *a* hinzugefügt; Ziffern ohne diesen Zusatz bezeichnen die neugebildeten Cirren der beiden Sprößlinge. Entsprechend sind *l.R.c* neugebildete, *l.R.c.a* und *r.R.c.a* alte, zur Resorption gelangende (linke bzw. rechte) Randcirren. *n.Z* Peristomanlage des hinteren Sprößlings (das dem vorderen Sprößling zufallende alte Peristom des Muttertieres ist nur im Umriß gezeichnet). Aus WALLENGREN 1901.



Von Flagellaten, bei denen sich die Vakuole nicht direkt nach außen, sondern in ein Reservoir ergießt, ist in neuerer Zeit die (ob mit Recht, erscheint noch zweifelhaft) zu den Euglenoideen gestellte *Copromonas subtilis* von DOBELL (1908) eingehend untersucht worden (Fig. 375). Hier liegt am Vorderende des Körpers ein großes Reservoir und seitlich neben diesem die in Einzahl vorhandene kontraktile Vakuole. Bei der Teilung des Flagellaten tritt zunächst auf der gegenüberliegenden Seite des Reservoirs eine neue kontraktile Vakuole auf; bei der Teilung des Plasmakörpers des Flagellaten wird dann das Reservoir median durchgeschnürt, so daß auf jeden Sprößling eine Hälfte desselben entfällt. — *Copromonas major* soll dagegen nach BERLINER (1909) zwei pulsierende Vakuolen besitzen, die abwechselnd in Tätigkeit treten und bei

der Teilung der allgemeinen Regel entsprechend auf die beiden Sprößlinge verteilt werden, deren jeder dann eine zweite neu bildet.

Für Ciliaten, deren pulsierende Vakuole lange zuführende Kanäle besitzt, kann der oft untersuchte *Stentor* als Beispiel dienen, bei dem das hintere der beiden durch Querteilung entstehenden Tochterindividuen die Vakuole neu bilden muß. Bei *St. roeseli* geht dieselbe nach JOHNSON 1893 aus einer lokalen Anschwellung der alten kontraktiven Vakuole hervor. Wie der neue vordere zuführende Kanal entsteht, der der adoralen Zone entlang verläuft, wird am besten durch die Diagramme (Fig. 326) erläutert. Dieser Ringkanal soll aber nach JOHNSON wenige Stunden nach erfolgter Teilung verschwinden und also nur ganz jugend-

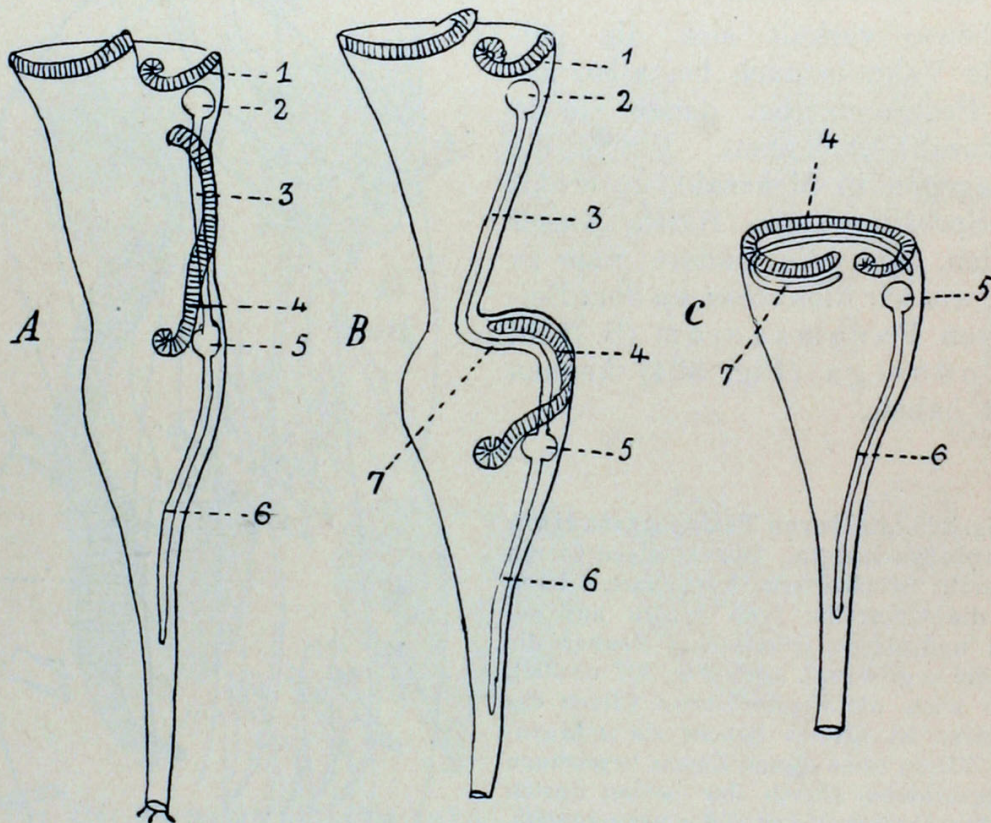


Fig. 326. Schematische Darstellung der Teilung von *Stentor roeseli* EHRBG. 1 adorale Zone des Muttertieres, 2 pulsierende Vakuole desselben, 3 longitudinaler zuführender Kanal der Vakuole des Muttertieres, 4 adorale Zone des hinteren Tochtertieres, 5 pulsierende Vakuole desselben, 6 deren longitudinaler zuführender Kanal, 7 Strecke des longitudinalen zuführenden Kanales des Muttertieres, die zum zirkulären zuführenden Kanal des hinteren Tochtertieres (in C) wird. Nach JOHNSON 1893.

lichen Individuen zukommen. Er wäre hiernach nichts als jenes Stück des alten hinteren zuführenden Längskanals, welches in dem hinteren Tochtertier vor der neuen kontraktiven Vakuole liegt.

2) Pellicula, Hüllen und Schalen. Wo das Ektoplasma (sei es eine vorübergehende Verdichtung wechselnder, an die Oberfläche getretener Plasmamassen, wie bei den Amöben, oder sei es eine dauernde, in ihrer oberflächlichsten Schicht zu einer verhältnismäßig festen Pellicula verdichtete Differenzierung) an der ganzen Körperoberfläche ganz oder doch nahezu gleichmäßig ausgebildet ist, ist sein Verhalten bei der Teilung ein sehr einfaches. Auch während dieser bleibt seine gleichmäßige Ausbildung erhalten und ist die Teilung des Plasmakörpers beendet, so ist auch jedem der beiden Tochter-

individuen sofort die normale Oberflächenstruktur mitgegeben worden. Anders dagegen, wenn die Pellicula lokale Verschiedenheiten aufweist, wie dies z. B. bei *Coleps* der Fall ist. Hier muß die normale Oberflächenstruktur erst wieder durch Neubildung hergestellt werden.

Coleps ist, wie bereits auf S. 159 erwähnt, „gepanzert“, indem die Pellicula zu einer Anzahl von „Panzerplatten“ differenziert ist, die durch schmale weichhäutige Stellen voneinander getrennt sind (vgl. auch Fig. 295, C, S. 287). Diese Platten sind in regelmäßigen Längsreihen zu je 4 angeordnet bzw. in 4 hintereinander gelegenen ringförmigen

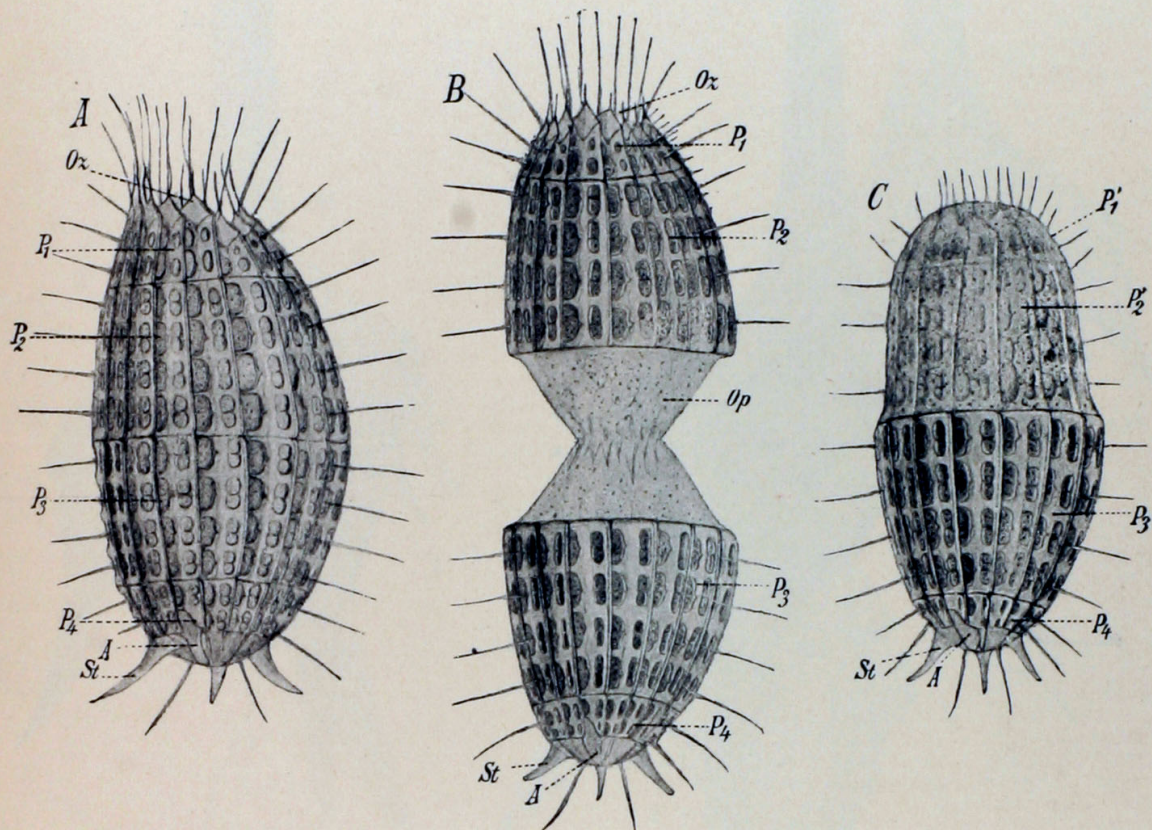


Fig. 327. ***Coleps hirtus***. **A** Ruhendes Infusor. **B** Teilungsstadium. **C** Hinterer Sprößling einer erst kürzlich beendeten Teilung, in dessen vorderer Hälfte der pelliculare Panzer in Neubildung begriffen ist. *A* Cytopyge, *Oz* die das Cytostom umstehenden Oralzähne der vordersten Panzerplatten, *P*₁—*P*₄ die 4 Reihen der Panzerplatten, *St* Stacheln an den hintersten Panzerplatten. Nach DOFLEIN 1911.

Gürteln, und die Platten des vordersten und des hintersten Gürtels besitzen besondere stachelförmige Fortsätze in Form der Oralzähne und Endstacheln (Fig. 327, A). Bei der Teilung des Infusors schneidet die Trennungsfurche in der Mitte des nahezu tonnenförmigen Körpers zwischen 2. und 3. Plattengürtel durch, und erst nach der Trennung der beiden Tochterindividuen voneinander werden von dem vorderen die ihm fehlenden beiden hinteren Plattengürtel und von dem hinteren entsprechend die beiden vorderen Plattengürtel neu gebildet (vgl. Fig. 327).

Auch der Cellulosepanzer der Dinoflagellaten verhält sich bei der Teilung ganz analog diesem pellicularen Panzer von *Coleps*.

Besonders sorgfältig untersucht ist der Teilungsvorgang bei dem im Süßwasser lebenden *Ceratium hirundinella* MÜLL. durch LAUTERBORN (1895), dessen Arbeit speziell hinsichtlich der bereits auf S. 148

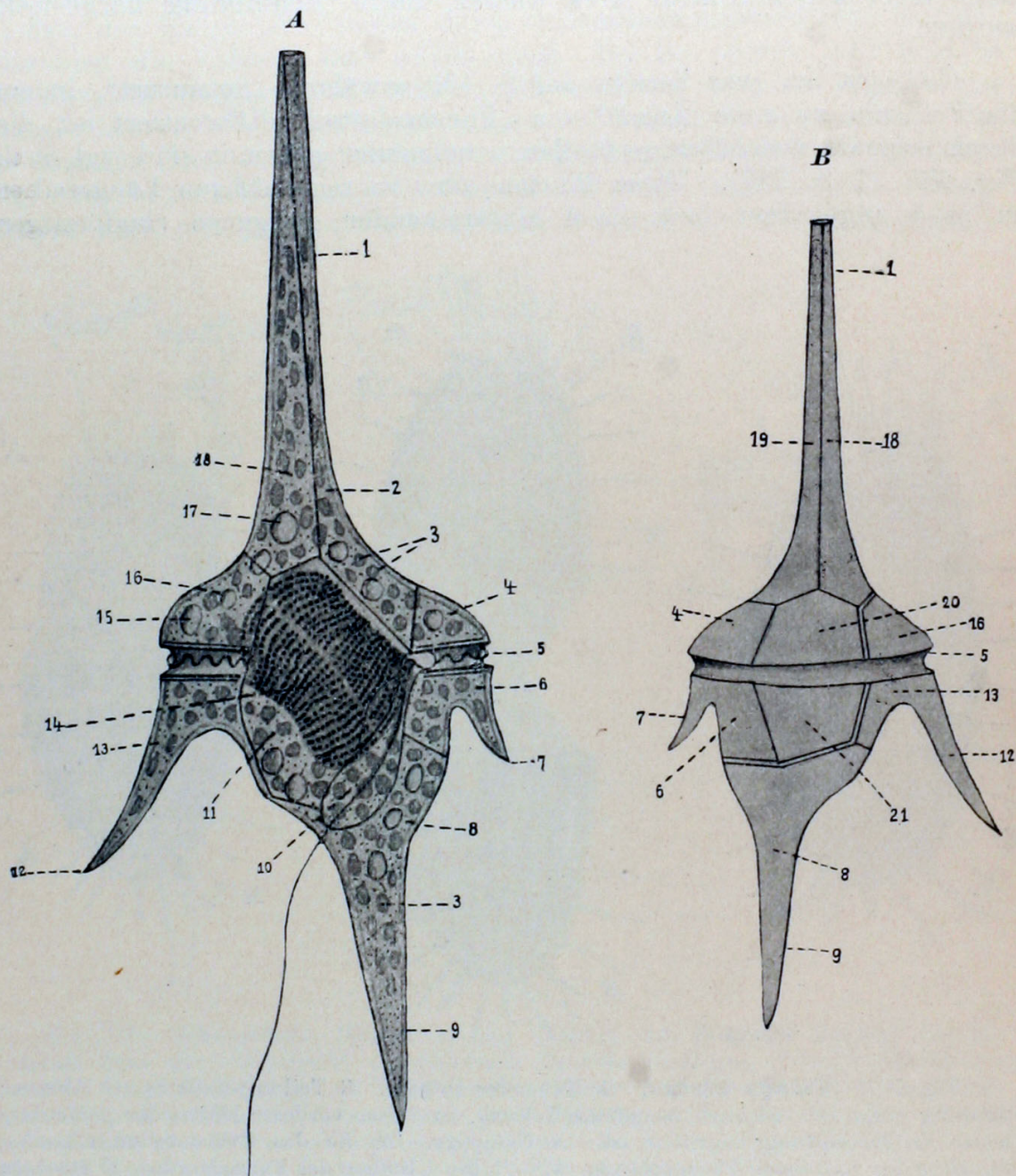


Fig. 328. *Ceratium hirundinella* MÜLL. aus dem Süßwasser. Länge bis 220 μ . **A** Beginn der Teilung. Ventralansicht. Die feinere Panzerskulptur (vgl. Fig. 330 u. 331) ist im Interesse deutlicher Darstellung des Weichkörpers nicht gezeichnet. **B** Dorsalansicht zur Darstellung der Panzerplatten und des (durch doppelte Kontur wiedergegebenen) dorsalen Teiles der Teilungsfurche. 1 Apikales Horn, abgebrochen dargestellt, 2 erste apikale Platte, 3 Chromatophoren, 4 erste Präcingularplatte, 5 Quer- oder Ringfurche, 6 erste Postcingularplatte, 7 linkes hinteres Horn, 8 Antapikalplatte, 9 antapikales Horn, 10 Längsfurche des Panzers, 11 Mundplatte, 12 rechtes hinteres Horn, 13 dritte Postcingularplatte, 14 Kern im Beginn der Teilung, 15 Fettkugeln, 16 dritte Präcingularplatte, 17 Fettkugeln, 18 dritte Apikalplatte, 19 zweite Apikalplatte, 20 zweite Präcingularplatte, 21 zweite Postcingularplatte. Nach LAUTERBORN 1895.

(Fig. 148, III) berücksichtigten Kernteilung eine neuere Ergänzung durch JOLLOS (1910) erfahren hat. Die Teilungsachse des Kernes verläuft in einem Winkel von ungefähr 45° zur Ringfurche des Panzers von links

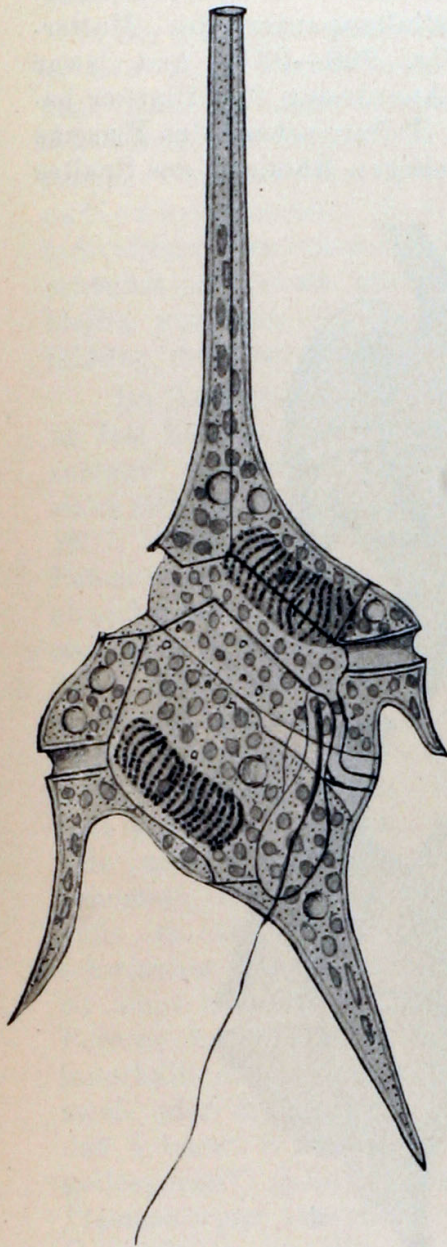


Fig. 329.

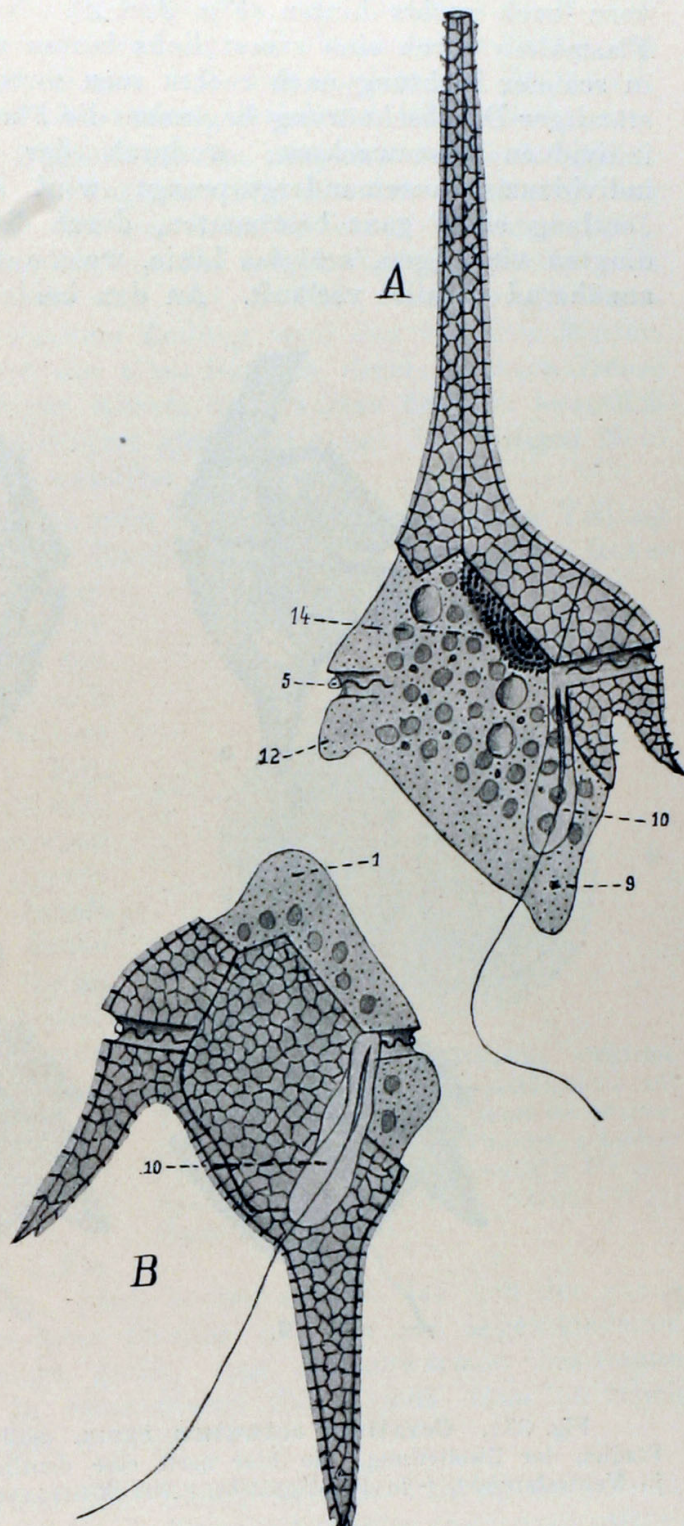


Fig. 330.

Fig. 329. **Ceratium hirundinella**. Fortgeschrittenes Teilungsstadium. Ventralansicht. Die beiden Panzerhälften auseinandergerückt, Kernteilung vollendet. Nach LAUTERBORN 1895.

Fig. 330. **Ceratium hirundinella** nach beendeter Teilung. **A** Eben aus der Teilung hervorgegangenes vorderes Tochterindividuum, welches die ihm fehlende hintere, **B** hinteres Tochterindividuum, welches die ihm fehlende vordere Hälfte durch Neubildung zu ergänzen im Begriff ist. Ventralansicht. Die in Fig. 328—329 fortgelassene Skulptur des Panzers ist dargestellt, doch sollten in der Figur die Leisten am Rande im Profil frei vorragen und nicht durch einen Saum verbunden sein. Nach LAUTERBORN 1895.

vorn nach rechts hinten (Fig. 328, A). Nach dem Kerne teilt sich der Plasmaleib durch eine zuerst links hinten auftretende Einschnürung, die in schiefer Richtung nach rechts vorn fortschreitet. Nach erfolgter vollständiger Durchschnürung beginnen die Plasmaleiber der beiden Tochterindividuen auszuwachsen, wodurch der Cellulosepanzer des Mutterindividuums auseinander gesprengt wird (Fig. 328—331) und zwar „entlang einer ganz bestimmten, durch die Anordnung der Platten bedingten winkelligen, schiefen Linie, welche der Teilungsebene des Plasmas annähernd parallel verläuft. An den beiderseitigen Rändern des Spaltes

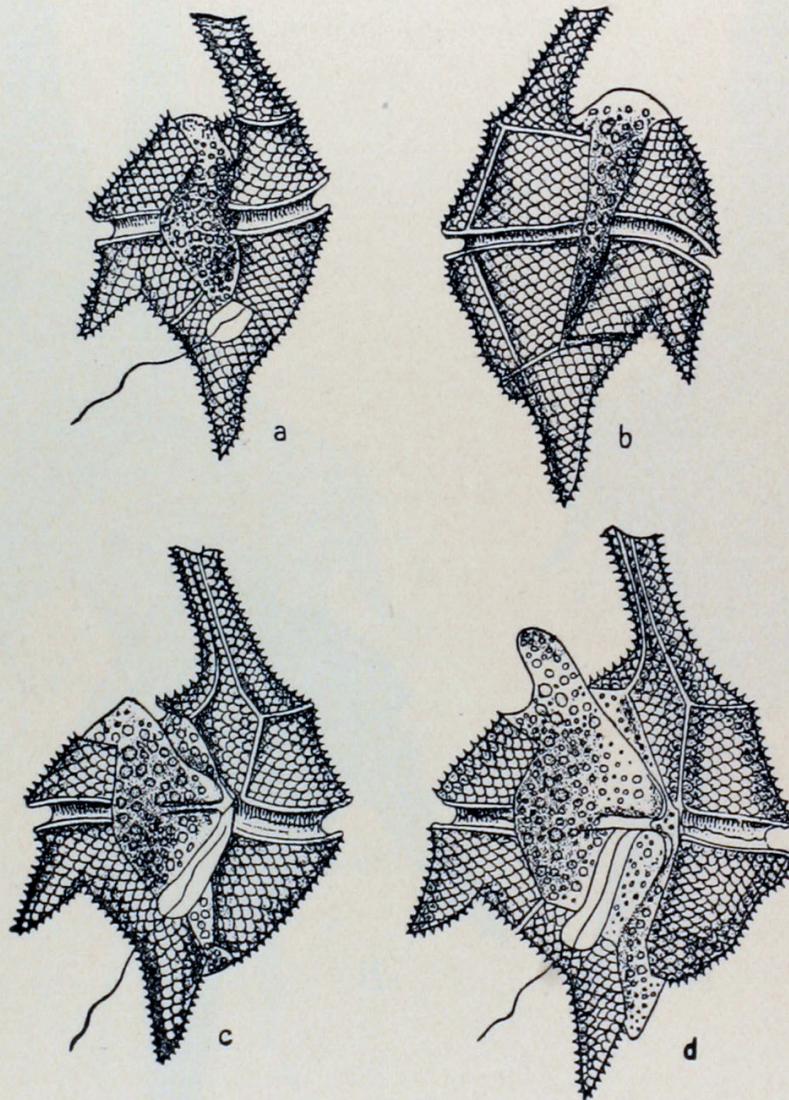


Fig. 331. *Ceratium cornutum* STEIN. Süßwasser. Vier aufeinander folgende Stadien der Zweiteilung, die hier noch eine deutliche Längsteilung ist. *a*, *c* und *d* in Ventralansicht, *b* in Dorsalansicht. Aus SCHILLING 1913.

wölbt sich das Plasma der beiden Tochter-Cerastien vor und beginnt sogleich mit der Regeneration der ihm fehlenden Teile. Sehr früh erscheint die Querfurche, ebenso die Anlage der Hörner, welche zuerst als höckerartige Erhebungen des Plasmas sichtbar werden, dann kegelförmige Gestalt annehmen und rasch an Größe zunehmen“ (Fig. 330 und 331). Dadurch wird der Spalt zwischen den beiden Panzerhälften immer klaffender, bis sich schließlich die beiden Tochterindividuen vollständig voneinander trennen. Jedes von ihnen behält die Hälfte des mütterlichen Panzers (die Apical- bzw. Antapicalplatten und je einen

Teil der Präcingular- und Postcingularplatten, vgl. hierzu auch S. 170 bis 172) und ergänzt sie durch Neubildung. Wahrscheinlich behält das hintere Tochterindividuum die Längs- und das vordere die Ringgeißel, während jedes von ihnen dann die andere Geißel neu bilden muß.

Die geringere Dicke des Panzers an den neugebildeten im Vergleich zu den alten Teilen läßt die Teilungslinie und die Art der Neubildung noch ziemlich lange erkennen, und mit ihrer Hilfe hat KARSTEN (1907) feststellen können, daß an dem Aufbau der langen Hörner, die für viele marine Ceratien charakteristisch sind (vgl. S. 172), mehrere Generationen arbeiten: Nach beendeter Teilung wird das von dem Mutterindividuum überkommene Horn des alten Panzers, dessen frühere Grenze zunächst an einem stufenartigen Absatz des Panzers deutlich kenntlich bleibt, von dem Sprößling verlängert gleichzeitig mit der völligen Neubildung der ihm fehlenden Panzerhälfte.

Im Anschluß hieran sei gleich noch bemerkt, daß außer dieser Teilung im frei beweglichen Zustand bei Dinoflagellaten auch Teilung im Ruhezustand beobachtet wurde. Dabei zieht sich bei *Peridinium* (SCHÜTT 1887, 1895) der Plasmaleib von der Panzermembran zurück, rundet sich ab und sondert innerhalb des Panzers eine neue Cystenmembran ab (Fig. 332). Die Cyste verbleibt dann entweder im Innern des mütterlichen Panzers oder sie tritt unter Sprengung desselben heraus. Ihr Inhalt teilt sich in 2 Zellen, von denen jede eine Quersfurche und Geißel bekommt, um hierauf die Cystenhülle zu sprengen und davonzuschwimmen. Ihr weiteres Schicksal ist nicht bekannt. — Bei gewissen Formen kann sich die Zweiteilung innerhalb des mütterlichen Panzers zwei- oder dreimal wiederholen, so daß 4 bzw. 8 Tochterzellen („Flagellosporen“) gebildet werden. Auch kommt es vor, daß sich der ganze Plasmakörper innerhalb des alten Panzers und der neu abgeschiedenen Cystenhülle in eine einzige große, zum Ausschwärmen bestimmte Flagellospore umwandelt. In allen diesen Fällen muß dann natürlich der ganze Panzer neu gebildet werden.

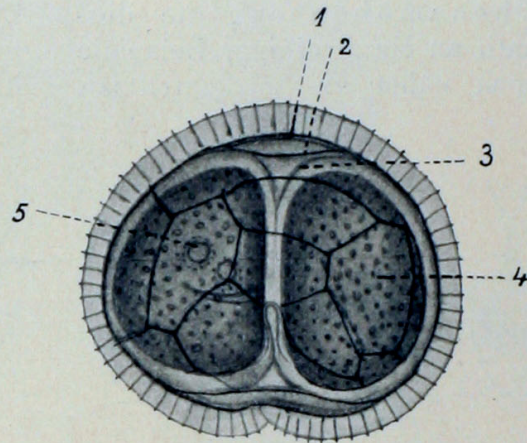


Fig. 332. *Peridinium ovatum* (POUCHET) SCHÜTT in Apikalansicht mit 2 sogenannten Sporen. 1 Panzer des Muttertieres, 2 innerhalb des Panzers gebildete Cystenmembran, 3 innere Sporenhülle für jede Spore, 4 Spore, 5 Pusule. Vergr. 400 : 1. Nach SCHÜTT 1895.

Gallerthüllen werden sehr häufig bei der Teilung mitgeteilt, derart, daß jeder Sprößling seine fertige Gallerthülle ebensogut mitbekommt wie sein Ektoplasma (z. B. *Trichosphaerium*). Ganz ebenso verhalten sich die durch Einlagerung von Kieselementen verstärkten Hüllen der Heliozoen (z. B. *Acanthocystis*, Fig. 323), und auch einzelne Rhizopodenschalen von besonders weicher Konsistenz können in dieser Weise geteilt werden (z. B. bei *Cochliopodium*, *Pseudodiffugia* und *Lieberkühnia*, bei denen die Teilung dann in der Längsrichtung der Schale erfolgt). Bei festeren Hüllen, Gehäusen und Schalen ist dies dagegen nicht mehr möglich, und dann sind 4 verschiedene Fälle denkbar:

1) Die Hülle wird geteilt und jeder Sprößling erhält die Hälfte, um die andere neu zu bilden (bei den bereits besprochenen Dinoflagellaten).

2) Das Mutterindividuum verläßt die Hülle vor der Teilung, und jeder Sprößling muß seine Hülle völlig neu bilden.

3) Von den beiden Sprößlingen bleibt der eine in der mütterlichen Hülle, während der andere eine solche neu bilden muß (Beispiele: Gehäuse von Dinobryon und anderen Chrysomonadinen, Fig. 333, und von Tintinnen, Fig. 334; Schalen der meisten Thecamöben).

4) Die Teilung erfolgt innerhalb der mütterlichen Hülle, die Sprößlinge aber schwärmen aus und bilden jeder eine neue Hülle (Beispiele: Chlamydomonadinen, Fig. 19 und 354, sowie auch die bereits besprochene Teilung der Dinoflagellaten im Ruhezustand).

Bemerkenswerte Besonderheiten weist die dem dritten Typus folgende Teilung der Thecamöben auf, die deshalb an Hand einiger Beispiele noch näher zu betrachten ist.

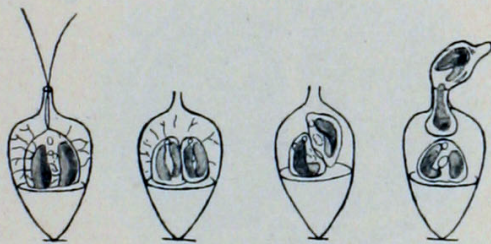


Fig. 333.

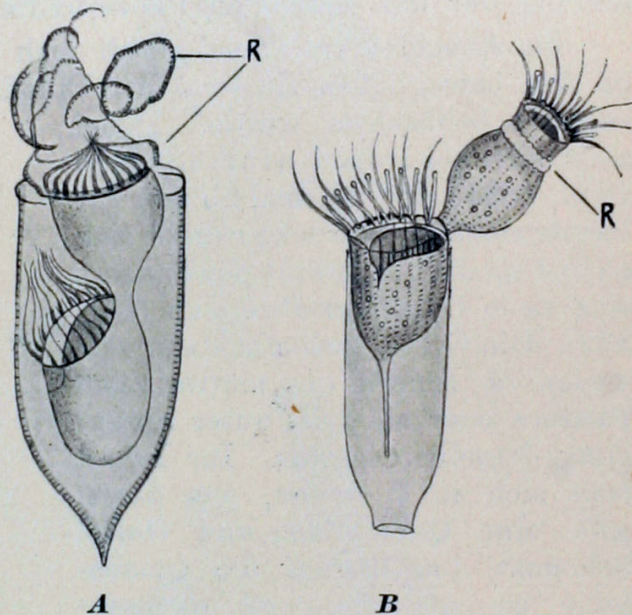


Fig. 334.

Fig. 333. **Derepyxis dispar** STOKES. Normales Einzelindividuum und 3 aufeinander folgende Teilungsstadien (Geißeln vor der Teilung rückgebildet). Nach PASCHER 1910.

Fig. 334. **Teilungsstadien von Tintinnen.** A **Cyttarocyclis ehrenbergi** (CL. u. L.). B **Tintinnidium inquilinum** (MÜLL.). R ringförmige Abscheidungen von Gehäusesubstanz als Beginn der Neubildung eines Gehäuses von seiten des vorderen Tochtertieres. Nach SCHWEYER 1910.

Bei *Chlamydomphrys stercorea* (CIENK.), die eine dünne Pseudochitinschale besitzt (vgl. S. 181 und Fig. 221 auf S. 220), beginnt die Teilung nach SCHAUDINN (1911) „damit, daß die Pseudopodien eingezogen werden und das Plasma unter starker Flüssigkeitsaufnahme aus der Mündung der Schale herausquillt und sogleich die für das Muttertier charakteristische Gestalt in umgekehrter Lage einnimmt (Fig. 335). An der Oberfläche der hervorgeknospeten Plasmamasse bilden sich regelmäßige pseudopodienartige Protuberanzen, die mit der Bildung der neuen Schale in Zusammenhang stehen (Fig. 335, 2—4). Die Neuanlage ist zunächst ganz mit Nahrungsplasma ausgefüllt [das beim ruhenden Tier den der Mündung angrenzenden Teil der Schale einnimmt, im Gegensatz zu dem den Schalengrund erfüllenden „Chromidialplasma“]. Dann wandert einer der inzwischen gebildeten Tochterkerne mit der Hälfte des sich gleichzeitig teilenden Chromidialplasma in die Neuanlage, wobei auch ein Teil der Exkretkörner mithinüberwandert. Die Protuberanzen ver-

schwinden nun, die neue Schale wird ganz glatt und gewinnt dadurch das für die Art charakteristische Aussehen (Fig. 335, 5—6). Kern und Chromidialplasma rücken dann ganz in den hinteren Teil des neuen Tieres, die Exkretkörner stellen sich an die Grenze von Nahrungs- und Chromidialplasma (Fig. 335, 6). Dann treten an den Schalenöffnungen neue Pseudopodien hervor, und die neuen Tiere rücken auseinander (Fig. 335, 7). Die sie verbindende Ektoplasmmasse reißt schließlich durch, und der Vermehrungsprozeß ist damit beendet.“

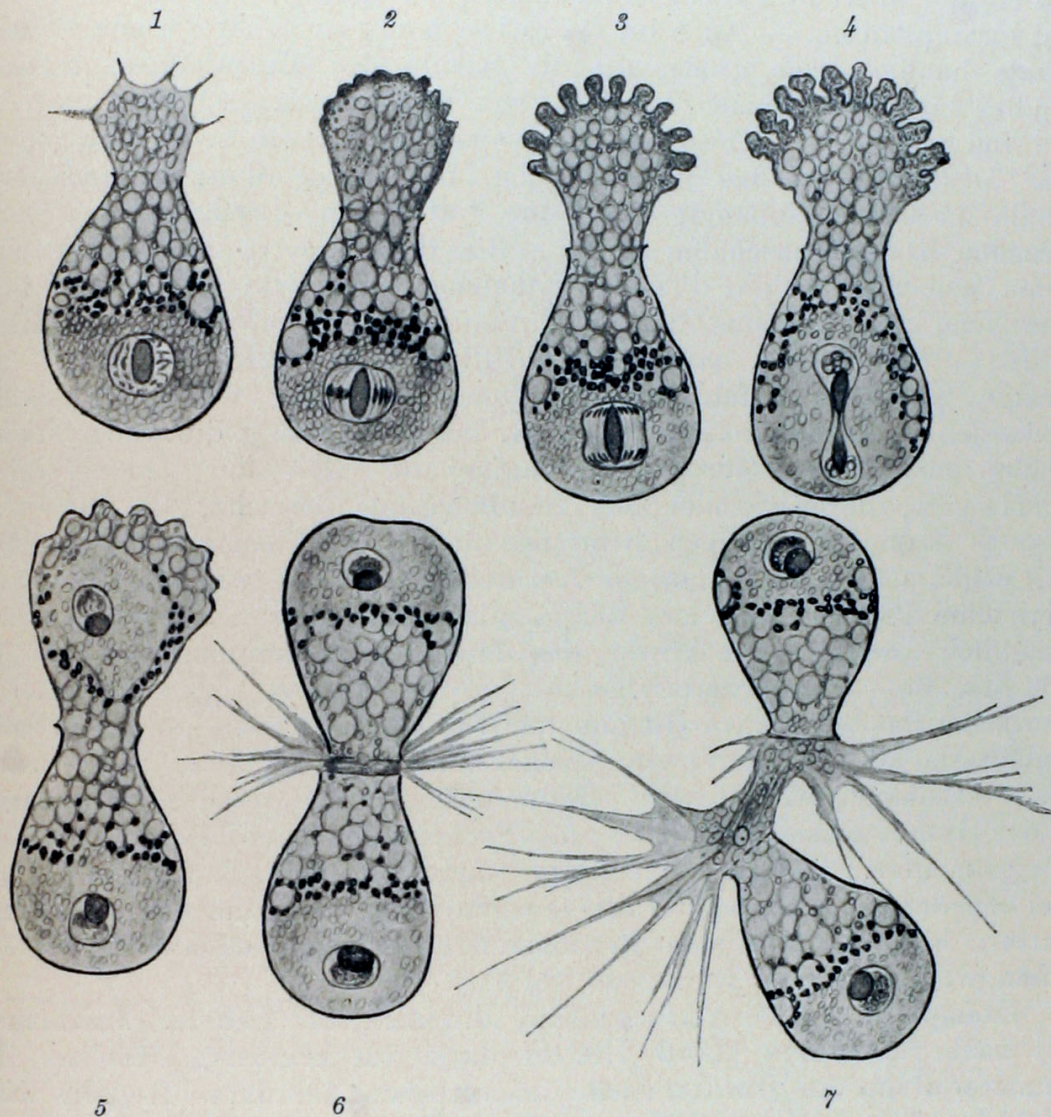


Fig. 335. *Chlamydothrys stercorea* (CIENK.). Knospungsteilung, nach dem Leben. Nähere Erklärung siehe im Text. Nach SCHAUDINN 1911.

Diese Art der Teilung zeigt eine Annäherung an die Fortpflanzung durch Knospung und ist deshalb von SCHAUDINN als Knospungsteilung bezeichnet. Nicht selten sind auch die beiden Sprößlinge nicht von gleicher Größe, und zwar ist dann die neugebildete Schale ein wenig größer als die Mutterschale. Speziell bei *Centropyxis aculeata* ist dies nach SCHAUDINN (1903) stets der Fall, so daß mit den aufeinander folgenden Teilungen ein regelmäßiges periodisches Schalenwachstum verbunden ist, das bis zur Erreichung einer Maximalgröße fortgesetzt wird (ca. 0,25 mm, während die kleinsten Schalen nur ca. 0,04 mm messen). Da die Plasmamenge in der neu-

gebildeten Schale aber nur die Hälfte der des Muttertieres ist, so kann sie recht lange wachsen, bis ihr die Schale zu eng wird und eine neue Teilung notwendig wird; auch bei reicher Nahrungszufuhr folgt diese daher erst nach 4—18 Tagen. Haben die Tochtertiere im Laufe der Generationen die Maximalgröße erreicht, so macht die Zweiteilung einer multiplen zur Entstehung der Gameten führenden Teilung Platz (vgl. auch die Abschnitte über Befruchtung und Generationswechsel). Andererseits scheinen die bei der Teilung in der Mutterschale verbleibenden Individuen überhaupt nicht die Fähigkeit zu haben, sich noch ein zweites Mal fortzupflanzen. — Auch bei *Arcella vulgaris* ist die neugebildete Schale häufig etwas größer als die Schale des Muttertieres, indessen ist dies hier nicht immer der Fall (vgl. ELPATIEWSKY 1907).

Bei agglutinierenden Thecamöben (wie z. B. *Centropyxis* oder *Diffugia*) ist das Material der bei der Teilung neugebildeten Schale natürlich abhängig von der Natur der Fremdkörper (Sandkörnchen, Diatomeenschalen u. dgl.), die die Tiere in ihrer Umgebung finden, zunächst in ihr Plasma aufnehmen und dann wieder auf ihrer Oberfläche als Bausteine der Schale miteinander verkitten (vgl. hierzu S. 181—182). Wenn man z. B. *Diffugien* so hält, daß ihnen nur winzige Splitterchen fein pulverisierten Glases zur Verfügung stehen, so werden die neuen Schalenteile bzw. bei der Teilung die ganzen neuen Schalen aus diesen Glassplittern aufgebaut. Bei der Teilung einer *Diffugia*, deren Schale aus Sandkörnchen besteht, die aber als weiteres Baumaterial Glassplittterchen in ihrem Plasma aufgespeichert hat, wölbt sich nach vorheriger Kernteilung ähnlich wie bei *Chlamydomorphys* eine Plasmamasse aus der Schalenmündung vor, die wächst und allmählich Gestalt und Größe des Muttertieres annimmt, wobei ihr auch der eine Tochterkern zugeteilt wird. Hierauf lagert sie auf ihre Oberfläche das bereits vor Beginn der Teilung im Plasma aufgespeicherte Baumaterial ab, das durch ein rasch erhärtendes Sekret zu einer festen Schale zusammengekittet wird. Dann teilt sich das gesamte Protoplasma an der Grenze zwischen Mutter- und Tochterschale, und man hat nun in dem gedachten Falle als Folge dieser einfachen ungleichhälftigen Teilung zwei Schalen, von denen die alte aus Sandkörnchen, die neue aus Glassplitttern besteht. Aus jeder Schalenmündung treten alsbald die Pseudopodien wieder hervor (RHUMBLER 1898).

Exemplare von *Centropyxis*, die sich zur Teilung anschicken, sind nach SCHAUDINN (1903) „leicht daran zu erkennen, daß sie das Baumaterial für die Tochterschale im vorderen Teil ihres Körpers dicht gedrängt aufgespeichert haben. Dieses Baumaterial, das aus allerlei Fremdkörpern, kleinen Kieselstückchen, Diatomeenpanzern etc. besteht, verleiht bei seiner dichten Lagerung diesen Stadien ein so charakteristisches Aussehen, daß man sie schon bei schwacher Vergrößerung als Fortpflanzungskandidaten erkennen und isolieren kann.“

Als Beispiel für eine Thecamöbe mit Kieselschale sei schließlich noch *Euglypha* betrachtet, deren zierliche Schale aus sich dachziegelförmig deckenden Kieselplättchen zusammengesetzt ist. Ehe sich das Tier zur Teilung anschickt, sondert sein Plasma im hinteren (bauchigen) Teile des Körpers in der Umgebung des Kernes eine größere Anzahl solcher Plättchen ab (Fig. 336, 1 auf S. 338). Dann zieht es die Pseudopodien ein. Ist dies geschehen, so beginnt Protoplasma aus der Schalenöffnung hervorzuströmen, bis der herausgetretene Teil so groß ist wie der in der Schale befindliche. Gleichzeitig wandern die vorgebildeten Schalen-

plättchen in das herausquellende Plasma hinein, werden hier an die Oberfläche befördert und als neue Schale dachziegelförmig abgelagert (Fig. 336, 2—3). Hierauf erst teilt sich der Kern in einer an eine Mitose erinnernden Weise (Fig. 336, 3—5), wobei der eine Tochterkern in der alten Schale verharret und der andere in die neue hinüberwandert (Fig. 336, 5). Die beiden Tochterindividuen hängen noch kurze Zeit, Schalenöffnung gegen Schalenöffnung, mit ihrem Protoplasma aneinander, dann erfolgt, nachdem inzwischen auch die Neubildung der kontraktiven Vakuole erfolgt ist, an der Schalenmündung Pseudopodienbildung (Fig. 336, 6), und die beiden Individuen lösen sich voneinander los.

3) Unter den Radiolarien findet sich Vermehrung durch Zweiteilung bei Collodarien und Tripylarien. Hierbei verhält sich die Membran der Zentralkapsel wie eine Zellmembran, d. h. sie teilt sich mit. Das Skelett verhält sich verschieden, je nachdem ob es einheitlich ist oder nicht. Besteht es aus zahlreichen einzelnen tangentialen oder radiären Spicula (z. B. *Thalassophysa* und *Aulacantha*) oder aus zwei schalenförmigen Klappen (Conchariden), so erhält jeder der beiden Sprößlinge die Hälfte des mütterlichen Skelettes, um dieselbe dann durch Neubildung des Fehlenden zu ergänzen. Namentlich die Teilung der Conchariden ist also in dieser Beziehung derjenigen der Dinoflagellaten vergleichbar. Ist dagegen das Skelett einheitlich und daher unteilbar (z. B. Challengeriden), so verbleibt es dem einen der beiden Sprößlinge, während der andere ein völlig neues bilden muß, vergleichbar der Neubildung der Gehäuse der Tintinnen und mancher Flagellaten. Dadurch erklärt sich auch das Vorkommen von noch völlig skelettlosen Jugendformen (wie z. B. *Phaeocolla valdiviae*, vgl. S. 76 f.). Im übrigen sei hinsichtlich der Zweiteilung der Radiolarien auf S. 85—87 verwiesen.

4) Die elastischen Außenfibrillen (Achsenstab bzw. Axostyl) der Flagellaten verhalten sich insofern anders als die bisher besprochenen Schutz- und Stützorganellen, als sie bei der Teilung völlig neu gebildet werden, während die entsprechende Organelle des Mutterorganismus der Resorption anheimfällt. Im übrigen ist der Besprechung auf S. 212 f. hier nichts mehr hinzuzufügen.

5) Die Geißel der Flagellaten fällt, wenn sie in Einzahl vorhanden ist und bei der Teilung des Tieres nicht etwa rückgebildet wird, stets ungeteilt dem einen Tochterorganismus zu, während der andere seine Geißel neu bilden muß. Diese neue Geißel bildet sich aber stets in unmittelbarer Nachbarschaft der alten und wächst allmählich neben dieser empor [vgl. Fig. 264 c, S. 259¹⁾, Fig. 214, S. 212]; sie kann ihr hierbei so dicht anliegen, daß man bei flüchtiger Untersuchung den irrümlichen Eindruck gewinnen kann, als wenn die mütterliche Geißel von ihrer Basis aus längsgespalten würde (z. B. bei Trypanosomen).

Aeltere Angaben über Längsspaltung der Geißeln von Flagellaten sind offenbar durchweg auf einen derartigen Irrtum zurückzuführen.

Sind mehrere Geißeln vorhanden, so werden diese in der Regel auf die beiden Tochterindividuen verteilt, deren jedes dann den vollständigen Geißelapparat dadurch wiederherstellt, daß es neben den

1) Infolge eines Schreibfehlers ist dort in der Figurenerklärung leider „in Ruhe“ anstatt „in Zweiteilung“ gedruckt.

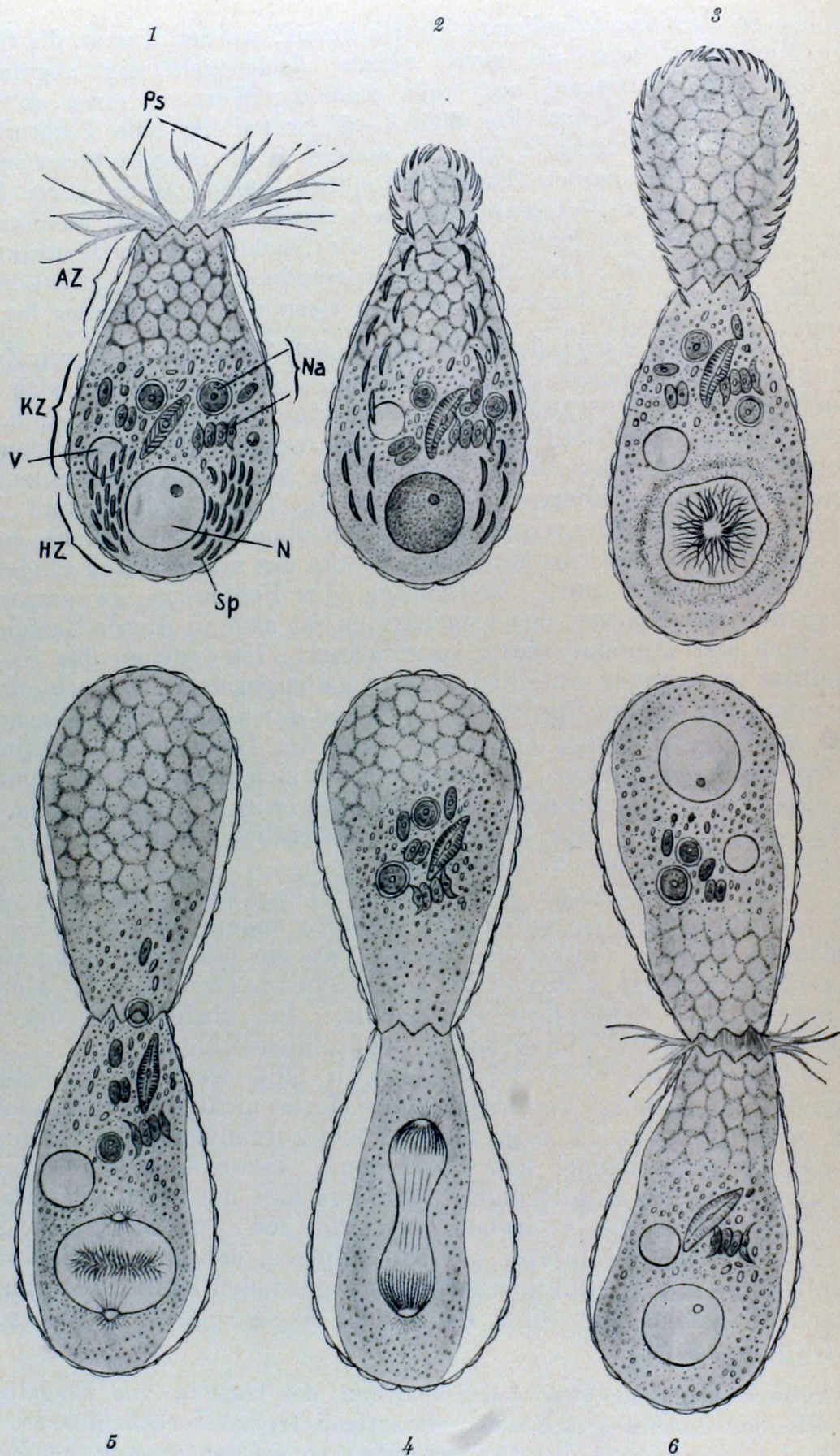


Fig. 336. **Euglypha alveolata** DUJ. Länge bis 100 μ . 1 Ein zur Teilung sich anschickendes Tier. AZ alveoläre Zone, HZ hyaline Zone und KZ körnige Zone des Protoplasmas, N Kern, Na Nahrungskörper, Ps Pseudopodien, Sp Schalenplättchen für die bei der Teilung neu zu bildende Schale, V kontraktile Vakuole. 2 Beginn der Teilung, etwa 5 Minuten später. Das Plasma der alveolären Zone ist zum Teil aus der Schalenmündung hervorgetreten und wird von herausgewanderten Schalenplättchen dach-

ziegelig überdeckt; das Plasma der hyalinen Zone hat an Volumen zugenommen; der Kern ist noch wenig verändert. **3** Späteres Stadium, etwa 30 Minuten nach dem vorigen. Die Wanderung der Schalenplättchen an die Oberfläche des hervorgetretenen Plasmas ist beendet, der Kern mit amöboidem Umriß, das Chromatin in ihm zu radiär gelagerten schleifenförmigen Fäden angeordnet, in seiner Umgebung strahlige Anordnung des Plasmas. **4** 25 Minuten später. Die neue Schale fertig ausgebaut, die achromatische Kernspindel ausgebildet, die chromatischen Schleifen in der Aequatorialplatte verkürzt und verdickt, das Plasma der alveolären Zone völlig in das Tochtertier hinübergewandert. **5** 35 Minuten später. Durchschnürung des biskuitförmig gewordenen und etwas oralwärts gewanderten Kernes, in dem die Chromatinschleifen zu zwei polständigen Tochterplatten auseinander gewandert sind. **6** 30 Minuten später, 2 Stunden nach Beginn der Teilung. Trennung der beiden Tiere unter Neubildung von Pseudopodien. Die charakteristische zonale Schichtung des Plasmas in beiden Tieren wiederhergestellt und die bald nach dem Stadium 4 verschwundene kontraktile Vakuole wieder aufgetreten. Nach SCHEWIAKOFF 1888.

überkommenen alten Geißeln die erforderlichen neuen bildet. Bei *Pyramimonas* z. B., die 4 gleiche Geißeln am Vorderende besitzt, erhält jedes Tochterindividuum bei der Längsteilung 2 von diesen und bildet hierauf 2 neu. Gleiches gilt aber auch bei Verschiedenheit der Geißeln. Bei *Trichomastix* z. B., die 3 Haupt- und eine Schleppgeißel besitzt und deren Teilung von DOBELL (1909) sehr gründlich untersucht ist, erhält bei der Teilung ebenfalls jedes Tochterindividuum zwei alte Geißeln, um alsbald zwei neue zu bilden; die normale Verschiedenheit der Geißeln wird dann erst nach beendeter Teilung wiederhergestellt. (Vgl. auch die Besprechung von *Ceratium* auf S. 333.)

Dieser Verteilung mehrerer Geißeln auf die beiden Tochterindividuen entspricht auch das Verhalten des Geißelapparates von *Herpetomonas* bei der Teilung. Hier ist zwar nur eine Geißel vorhanden, aber diese besitzt zwei Achsenfibrillen. Bei der Teilung des Tieres spaltet sich diese Doppelgeißel derart, daß jedem Tochterindividuum eine ihrer Achsenfibrillen zufällt (vgl. Fig. 10, S. 12). Von dem Blepharoplasten aus wird dann die zweite Achsenfibrille in ganz entsprechender Weise neu gebildet, wie bei anderen Flagellaten eine neue selbständige Geißel.

In anderen Fällen erfolgt aber auch eine völlige Rückbildung der Geißeln des mütterlichen Flagellaten und dementsprechend Neubildung sämtlicher Geißeln bei beiden Sprößlingen.

Dies ist stets der Fall, wenn die Teilung im encystierten Zustande erfolgt, da die Encystierung wohl stets mit einer Rückbildung der Geißeln verbunden ist.

Es gilt in gleicher Weise auch für diejenigen Flagellaten, die sich wie *Chlamydomonas*, *Polytoma* u. a. innerhalb der ungeteilt bleibenden mütterlichen Cellulosemembran teilen, wobei diese Membran, mit der wenigstens anfangs die mütterlichen Geißeln im Zusammenhang bleiben, sich dann weiterhin wie eine Cystenhülle verhält (vgl. Fig. 19, S. 17).

Schließt sich der ersten Teilung noch innerhalb der Hülle gleich eine zweite oder gar noch eine dritte an, so erfolgt die Neubildung der Geißeln für die Sprößlinge erst nach Beendigung auch dieser Teilungen vor dem Ausschlüpfen der Sprößlinge aus der Hülle (vgl. Fig. 19, 3).

Rückbildung der Geißeln kann aber auch vorkommen bei einer Teilung im freien Zustande. Als Beispiel hierfür kann neben der bereits auf S. 326 erwähnten *Noctiluca* die von DOBELL (1908) untersuchte *Copromonas subtilis* dienen. Der Beginn der Teilung des

stark herangewachsenen Flagellaten macht sich zuerst an der nur in Einzahl vorhandenen Geißel bemerklich, indem diese an Beweglichkeit einbüßt, dann allmählich immer kürzer wird und schließlich völlig verschwindet. Auch nach ihrer Resorption bleibt jedoch ihr Basalkorn erhalten. Dieses teilt sich in zwei Tochterkörnchen, und von jedem von diesen sproßt dann eine neue Geißel für jedes der beiden Tochterindividuen hervor (vgl. unten Fig. 375).

Als Beispiel für ein cytologisch anderes Verhalten sei auch noch auf *Lophomonas* hingewiesen, bei deren Teilung die Neubildung sämtlicher Geißeln für beide Tochterindividuen der Rückbildung der Geißeln des Muttertieres vorausgeht (vgl. Fig. 215, S. 213).

Schließlich sei auch noch ausdrücklich betont, daß Flagellaten, die ihren Geißelapparat unabhängig von Teilungsvorgängen zeitweise rückbilden können, wie z. B. *Crithidia* (vgl. S. 259) sich sowohl im geißeltragenden wie auch im geißellosen Zustande teilen können.

6) Cytostom und Cytopharynx. Bevor wir im Anschluß an die Geißeln der Flagellaten auf die Wimperapparate der Infusorien eingehen, sei wegen der Beziehungen des Peristoms zur Mundöffnung zunächst noch auf das Verhalten von Cytostom und Cytopharynx bei der Teilung eingegangen. Dessen Untersuchung stößt auf besondere Schwierigkeiten, und es liegen deshalb nur wenig Angaben vor. Es scheint aber, daß ebenso wie bei den Geißeln entweder die mütterlichen Organellen dem einen Sprößling zugewiesen und von dem anderen durch neue ersetzt werden, oder daß Cytostom und Cytopharynx des Mutterindividuums eingeschmolzen und von beiden Sprößlingen durch Neubildungen ersetzt werden. Letzteres ist anscheinend (wenigstens bei den Infusorien) seltener als die direkte Ueberweisung der mütterlichen Organellen an den einen der beiden Sprößlinge.

a) Besonders spärlich sind Angaben über das Verhalten des Cytostoms bei der Teilung von Flagellaten. Für *Trichomastix lacertae* gibt PROWAZEK (1904) an: „Das Cytostom beteiligt sich nicht an der Teilung, wenigstens fand ich dasselbe selbst auf älteren Teilungsstadien stets bei dem einen Individuum — es muß also für das andere Individuum neu angelegt werden.“ DOBELL (1909) bestätigt dies für *Trichomastix batrachorum* und scheint dasselbe auch für *Trichomonas batrachorum* anzunehmen.

Bei *Copromonas subtilis* gewann DOBELL (1908) dagegen trotz der außerordentlichen Schwierigkeit der Beobachtung die Ueberzeugung, daß das Cytostom des sich teilenden Flagellaten rückgebildet wird und daß die Cytostome beider Sprößlinge Neubildungen sind.

Daß bei der Teilung von *Noctiluca* nach einer alten, der Bestätigung bedürftigen Angabe das Cytostom angeblich halbiert werden soll, wurde bereits auf S. 326 erwähnt.

b) Infusorien. Bei *Paramaecium* sollen nach alten Angaben von HERTWIG (1889) Cytostom und Cytopharynx sich teilen, derart, daß sie für das hintere Tochtertier als direkte Teilprodukte der entsprechenden Organellen des Muttertieres gebildet werden (vgl. S. 117 f.). Eine neuere Bestätigung dieser Angabe liegt aber nicht vor, während bei anderen, in neuerer Zeit daraufhin untersuchten Infusorien stets beobachtet wurde, daß das Cytostom des hinteren Sprößlings sich unabhängig von dem alten, dem vorderen Tochtertier zufallenden Cytostom ausbildet. Von Holotrichen sei als Beispiel hierfür *Colpidium* ange-

führt. PROWAZEK (1910) beobachtete bei diesem die erste Anlage des neuen Cytostoms für das hintere Tochttertier in Form einer sich mit Eisenhämatoxylin dunkler färbenden Verdickung des Ektoplasmas. Entsprechend muß dann natürlich auch der Cytopharynx des hinteren Sprößlings als eine von dem alten Cytopharynx unabhängige Neubildung entstehen.

Bei dem ebenfalls zu den Holotrichen gehörigen *Chilodon hexastichus* erfolgt nach KIERNIK (1909) die Neubildung von Cytostom und Cytopharynx für das hintere Tochttertier erst nach seiner Lösung von dem vorderen. „Nach der Lostrennung ergänzen die beiden Tochterorganismen den fehlenden Teil der Pellicula und beginnen ein selbständiges Leben zu führen. Während aber das aus dem vorderen Teile entstehende Tochterindividuum aus dem Teilungsprozeß gleich als vollkommen in seiner Organisation hervorgeht, da es den Cytopharynx und Reuseapparat von dem Mutterorganismus vererbt, muß das aus dem hinteren Teile hervorgegangene Individuum diese Organellen von neuem ausbilden. Darum verbleibt es noch einige Zeit an der Teilungsstelle bewegungslos bis zur Neubildung der fehlenden Teile, während das vordere Tochterindividuum gleich nach Beendigung des Teilungsprozesses sich von der Stelle entfernt.“

Ueber das Verhalten des Cytostoms bei solchen Holotrichen, bei denen es direkt am vorderen Körperpol liegt, liegen zwar direkte Angaben nicht vor. Indessen ist es von vornherein klar, daß auch hier das alte Cytostom dem vorderen Sprößling zufallen und der hintere ein solches neu bilden muß (vgl. Fig. 327 auf S. 329).

Beispiele für die gleiche Erscheinung aus anderen Ordnungen der Wimperinfusorien finden sich in der folgenden Besprechung der Wimperapparate.

Rückbildung des alten Cytostoms und Cytopharynx mit folgender Neubildung dieser Organellen für beide Sprößlinge findet sich unter den Infusorien bei allen Hypotrichen, sowie ferner bei den Urceolariden (z. B. *Trichodina*) und dann vermutlich wohl auch bei den Vorticelliden. Näheres hierüber folgt ebenfalls nachstehend bei Besprechung der Wimperapparate.

7) Von den Wimperapparaten der Infusorien bedarf das allgemeine Wimperkleid der Holotrichen und Heterotrichen, das einfach auf die beiden Tochttertiere verteilt wird, keiner besonderen Besprechung. Differenzierung verschiedenartiger und bestimmt lokalisierter Wimperorganellen bedingt aber einen entsprechend komplizierteren Ablauf der Teilung. Außer dem Peristom sind nach dieser Richtung besonders die stark spezialisierten Wimpern der Hypotrichen genauer untersucht worden.

a) **Heterotricha.** Bei *Stentor* tritt als erstes Zeichen einer bevorstehenden Teilung ein Wimperband an der linken Körperseite auf, die Anlage der adoralen Zone des späteren hinteren Tochttertieres (vgl. hierzu die schematische Fig. 326). Es verläuft in der Längsrichtung von vorn bis gegen die Körpermitte, etwas schief, die Wimperstreifen durchschneidend. Bald zeigt sein hinteres Ende eine etwas stärkere Krümmung, in der dann die CytopharynxEinstülpung auftritt. Vor dem Wimperband schnürt sich der Körper ein, derart, daß ein neues Stirnfeld zustande kommt, das von dem immer mehr in eine quere Stellung rückenden Wimperbande in der für *Stentor* charakteristischen Schraubenlinie

umzogen wird. Infolge immer tieferen Einschneidens der Einschnürung bleibt schließlich das vordere, die adorale Zone des Muttertieres behaltende Tochterindividuum mit dem hinteren nur noch durch ein dünnes Verbindungsstück in Zusammenhang, das stets am aboralen Angangspunkt der neuen adoralen Zone liegt. Schließlich reißt auch dieses letzte Band, und die beiden Individuen sind völlig getrennt.

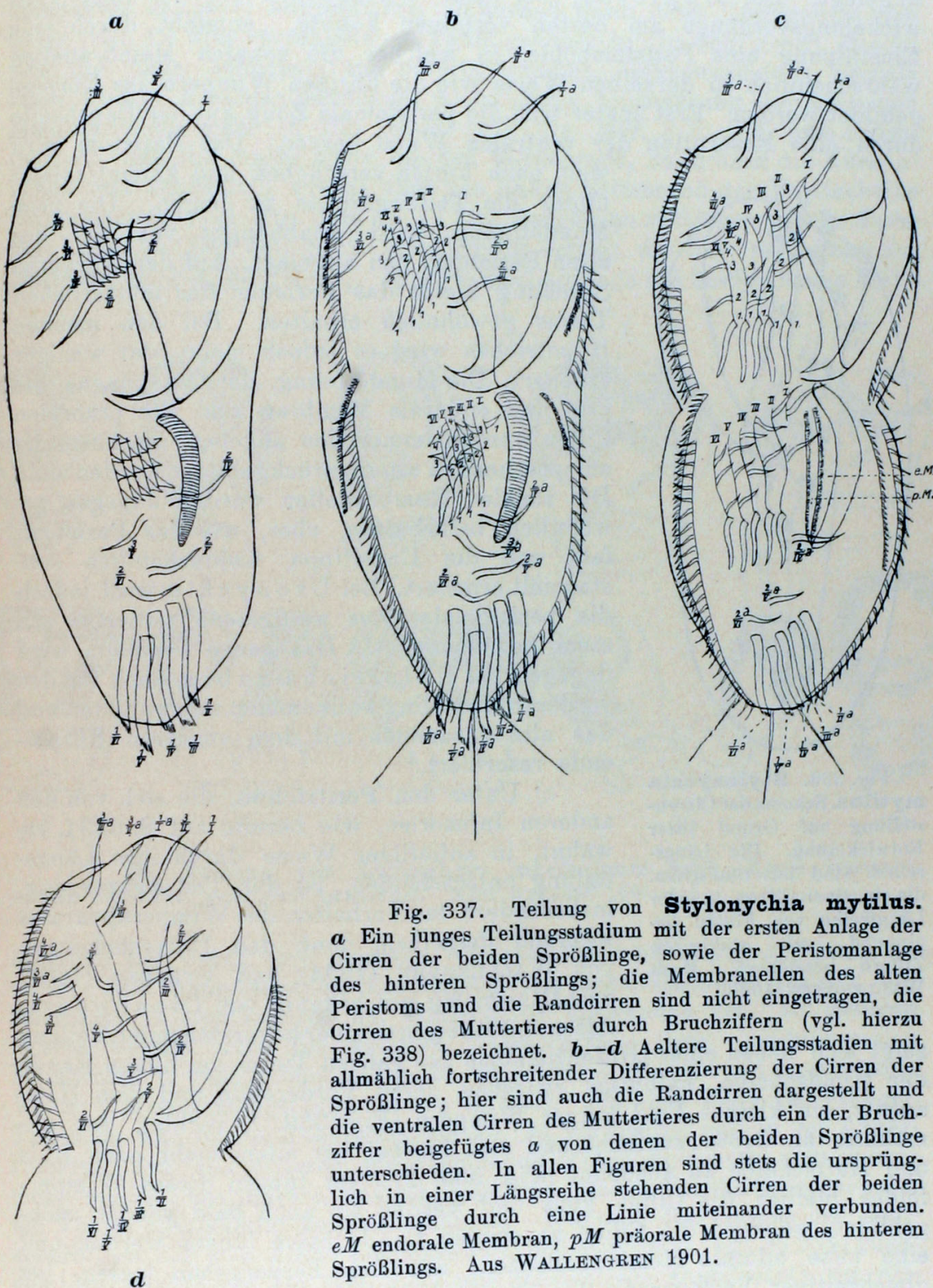
In ganz entsprechender Weise erfolgt auch die Teilung der *Tintinnen*, über die neuere Angaben von FAURÉ-FRÉMIET (1908) und SCHWEYER (1910) vorliegen. Lange vor irgendeinem Anzeichen einer Teilung des Plasmakörpers tritt auf der Ventralfläche ungefähr in der Mitte der Länge oder noch etwas hinter dieser die Anlage des neuen Peristoms auf. An einer flachgrubigen Einsenkung der Oberfläche bildet sich ein etwas schräg gerichtetes und leicht S-förmig gekrümmtes wulstiges Wimperband, das sich später zur Kreisform zusammenschließt. Dem im alten Gehäuse verbleibenden Tochttertier fällt dieses neugebildete Peristom zu, während das vordere Tochttertier, das das alte Peristom erbt, sich knospenähnlich abschnürt, um alsbald ein neues Gehäuse zu bilden (Fig. 334).

b) Die Teilung der **Hypotrichen**, die WALLENGREN (1900, 1901) näher untersucht hat, ist in auffälliger Weise dadurch charakterisiert, daß bei ihr eine Neubildung auch solcher Organe und Körperteile stattfindet, die nur ihrer Lage wegen nicht neu angelegt zu werden brauchten, und daß daher mit dem Teilungsprozeß eine mehr oder weniger weitgehende Erneuerung der Körper beider Sprößlinge verbunden ist unter gleichzeitiger Resorption alter Organe und Körperteile. Vor allem findet eine völlige Erneuerung des Wimperkleides statt, die wir an dem Beispiel von *Stylonychia mytilus* betrachten wollen (vgl. auch S. 326).

Neben der Neuanlage des Peristoms für den hinteren Sprößling ist bei den Hypotrichen das Auftreten von Anlagen neuer ventraler Cirren für beide Sprößlinge das erste Anzeichen einer sich vorbereitenden Teilung. Diese Anlagen entstehen in zwei dicht zusammengelagerten Gruppen, je einer für jeden Sprößling, an zwei bestimmten, wenngleich je nach den Arten etwas verschiedenen Stellen der Bauchfläche, meist ungefähr in der Mitte des Stirnfeldes und dicht hinter dem oralen Ende des mütterlichen Peristoms. Fig. 337 *a* zeigt ihre Lage bei *Stylonychia mytilus*. In jeder Gruppe sind die Cirrenanlagen in regelmäßigen, meist ein wenig schräg gerichteten Längsreihen, die wir mit WALLENGREN von links nach rechts fortschreitend mit römischen Ziffern numerieren, und in der Regel auch in ziemlich regelmäßigen Querreihen angeordnet. Bei *Stylonychia* sind 6 Längsreihen vorhanden, von denen jedoch die am weitesten links gelegene nur eine einzige Cirrenanlage enthält; dann folgen drei (II—IV) mit je drei Cirrenanlagen, während die beiden letzten Längsreihen (V—VI) aus je vier Cirrenanlagen bestehen (vgl. Fig. 337, *a* u. *b*). Bei Hypotrichen mit verhältnismäßig derber Pellicula (wie z. B. *Euplotes*) treten die Cirrenanlagen durch eine deutliche spaltförmige Durchbrechung dieser Pellicula, die sich erst später wieder schließt, hervor (in Fig. 325 bei *lRe* noch sichtbar).

Beim weiteren Fortschreiten des Teilungsprozesses wachsen die neugebildeten Cirren immer mehr heran und rücken immer weiter auseinander, um allmählich die für das ausgebildete Infusor charakteristische Form und Lage anzunehmen (vgl. Fig. 337 und 338). Die alten Cirren des Muttertieres werden, wie bereits auf S. 326 erwähnt, größtenteils erst dann resorbiert, wenn die neugebildeten Cirren der beiden Sprößlinge

funktionsfähig geworden sind; nur einzelne, die in unmittelbarer Nachbarschaft der Neuanlagen standen, schwinden schon sehr frühzeitig: 4/V fehlt schon in Fig. 337, *a* (vgl. mit dieser Figur Fig. 338), und die auf diesem Stadium noch vorhandene alte Cirre 3/IV ist in Fig. 337, *b*



geschwunden. Inzwischen treten auch neben den alten Randcirren die Reihen neuer Randcirren für beide Tochtertiere auf (vgl. Fig. 337, b), und während diese allmählich ihre volle Ausbildung erlangen, beginnen auch die alten Randcirren des Muttertieres, von vorn aus fortschreitend, durch

Resorption zu schwinden (Fig. 337, *b—d*). Wegen weiterer Einzelheiten muß auf die Originalarbeiten von WALLENGREN verwiesen werden.

Das Peristom des hinteren Teilungssproßlings wird bei den Hypotrichen ebenso wie bei den oben besprochenen Heterotrichen ganz neu angelegt. Bei *Euplotes*, bei dem WALLENGREN (1901) diese Entwicklungsvorgänge am besten verfolgen konnte, „entsteht durch eine Einstülpung eine Peristomhöhle, in welcher die zonalen Membranellen wahrscheinlich in derselben Weise wie die übrigen Wimpern des Körpers gebildet werden. Erst später tritt die peristomale Zone auf der Bauchseite durch eine Resorption der ventralen Wand hervor. Das Peristom wird

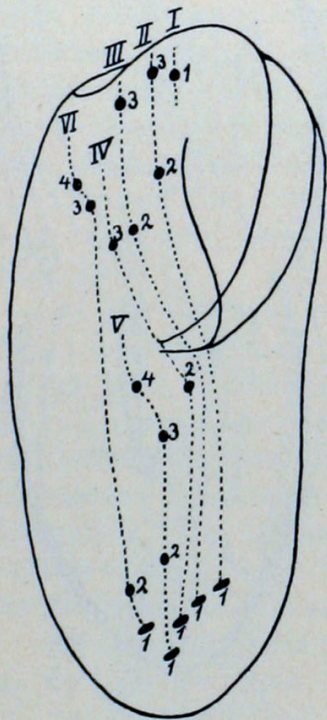


Fig. 338. *Stylonychia mytilus*. Schema der Cirrenstellung auf Grund ihrer Entwicklung. Die Längsreihen sind mit römischen, die einzelnen Cirren, in jeder Längsreihe von hinten beginnend, mit arabischen Ziffern bezeichnet. Nach WALLENGREN 1900.

weit nach hinten verschoben und kommt zuletzt hinter die Teilungsebene zu liegen. Die neue Mundöffnung wird unabhängig von der des alten Peristoms neu angelegt. Auf dem vorderen Sproßling bleibt das Peristom des mütterlichen Tieres gewöhnlich erhalten. Bei den meisten Hypotrichen wird es jedoch mehr oder weniger erneuert. Die Mundöffnung, der Oesophagus, die prä- und endorale Membran und die präoralen Cilien werden immer neu angelegt, nachdem die entsprechenden alten zurückgebildet worden sind. Die zonalen Membranellen werden dagegen gewöhnlich beibehalten, aber, wie das Peristomfeld und die Unterlippe, wahrscheinlich substantiell erneuert. Bei *Uronychia* wird jedoch die peristomale Zone wenigstens teilweise von einer neuen ersetzt. Das ganze Peristom wird dagegen bei *Holosticha rubra* auch für den vorderen Sproßling vollkommen neu gebildet und das alte zusammen mit dem vorderen Körperende resorbiert.“

c) Unter den **Peritrichen**, die sich von den anderen Infusorien, wie bereits auf S. 323 f. erwähnt, in auffälliger Weise durch ihre Längsteilung unterscheiden, ist der Teilungsvorgang, insbesondere das Verhalten des Wimperapparates während desselben, dank den Untersuchungen von WALLENGREN (1894) und STEVENS (1901) verhältnismäßig gut bekannt von *Licnophora*. Als erstes Anzeichen einer bevorstehenden Teilung zeigt sich neben einer Größenzunahme des ganzen Tieres am linken Rande der Mundscheibe, halbwegs zwischen deren Vorderende und dem Halsansatz, ein kleines Feld kurzer Wimpern (Fig. 339, 1, rechts), das allmählich an Größe zunimmt und sich hierbei vor allem mehr nach Hals und Haftscheibe zu ausdehnt (Fig. 339, 2). Im Innern dieses Wimperfeldes bleiben die Cilien kurz und werden sie auch bald wieder rückgebildet, während die Cilien an seinem Rande rasch länger werden und eine neue adorale Membranellenzone aus sich hervorgehen lassen, bei gleichzeitiger Verlagerung des so entstandenen neuen Peristomfeldes auf die Ventralfläche der Mundscheibe (Fig. 339, 3). Während aber die adorale Zone der ausgebildeten *Licnophora* gleich der der meisten anderen Infusorien linksgewunden ist, ist die Neuanlage dieser Zone zunächst umgekehrt rechtsgewunden wie bei den Urceolariden (Cyclo-

chaeta, Trichodina) und Vorticelliden (Fig. 339, 3—5). Inzwischen haben sich auch die 25—30 Großkerne des Muttertieres zu einigen wenigen (1—6) größeren Kernmassen vereinigt, ähnlich wie bei Stentor und Spirostomum der perlschnurförmige Kern sich vor der Teilung zu einem kompakten Ellipsoid konzentriert. Während dann diese Kernmassen sich teilen (vgl. die drei verschiedenen Teilungsbilder in Fig. 339, 4—6), streckt sich die neue, zunächst, wie bereits erwähnt, linksgewundene, adorale Zone (durch Auseinanderrücken, nicht durch Vermehrung der einzelnen Membranellen) mehr in die Länge (vgl. Fig. 339, 3 und 4) und nimmt dadurch, daß ihr orales Ende um den Vorderrand, dann über die Rückenfläche und schließlich wieder über den linken Seitenrand der Mundscheibe herumwandert (vgl. Fig. 339, 4—7), ihre endgültige rechtsgewundene Form und Lage an (Fig. 330, 8)¹⁾. Gleichzeitig erfolgt die direkte Teilung der Haftscheibe (Fig. 339, 4—7). Hierbei sind anfangs die beiden neuen Haft-

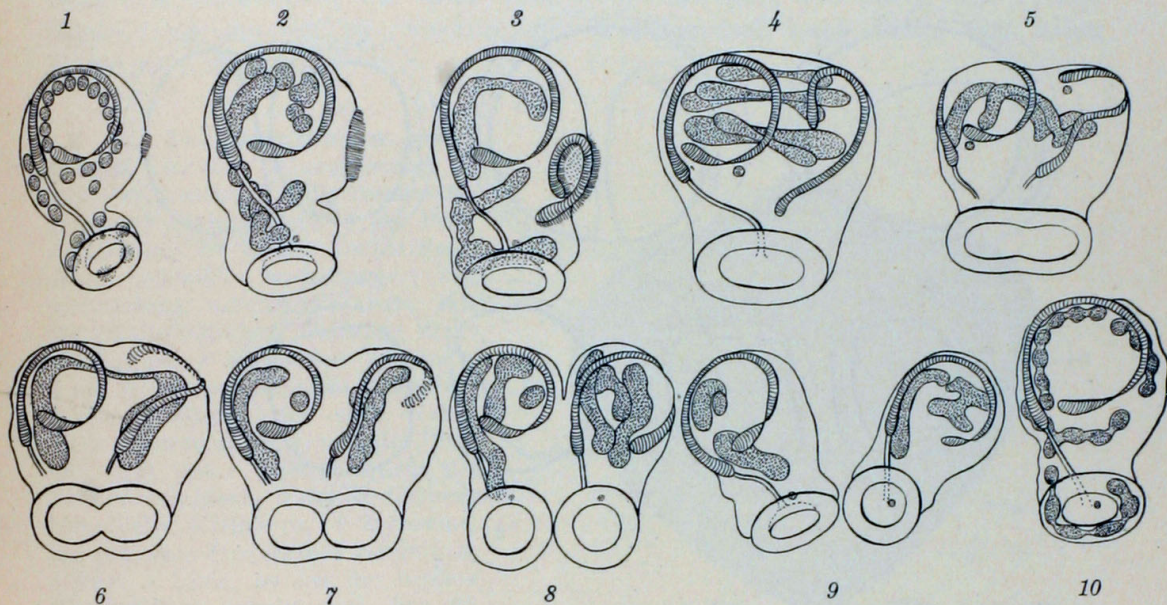


Fig. 339. **Teilung von *Licnophora macfarlandi* STEV.** Kerne punktiert, adorale Zone quer gestrichelt gezeichnet. Nach STEVENS 1901.

scheiben nur durch eine doppelte Wimperreihe voneinander getrennt, die durch eine entsprechende Einbiegung mit anschließender Teilung des innersten Wimperkranzes der Haftscheibe entstanden ist. In gleicher Weise werden auch die anderen Wimperkränze (bzw. „undulierenden Membranen“) der beiden neuen Haftscheiben sowie das sie umgürtende Velum vervollständigt (vgl. hierzu S. 267), und dies führt zur völligen Trennung der beiden Tochterindividuen, da inzwischen eine in der Längsrichtung des Muttertieres einschneidende Trennungsfurche sich immer mehr vertieft hat, derart, daß schließlich die beiden Tochtertiere nur noch am Velum miteinander zusammenhängen. Während der Teilung der Haftscheibe ist der von dieser ausgehende Fibrillenapparat (vgl. S. 214) rückgebildet worden (in Fig. 339, 4—7 nur schematisch angedeutet), um als-

1) STEVENS (1904) denkt daran, daß die Herausbildung einer linksgewundenen adoralen Zone aus einem einheitlichen Felde gleichmäßig kurzer Wimpern und deren spätere Umwandlung in eine rechtsgewundene Zone vielleicht phylogenetische Bedeutung habe. Auch die zahlreichen Kerne von *Licnophora* führt STEVENS phylogenetisch auf einen bandförmigen Kern nach Art derjenigen von *Trichodina* und *Vorticella* zurück.

dann von den aboralen Enden der beiden adoralen Zonen aus wieder neugebildet zu werden (vgl. Fig. 339, 5—10). Nach der Trennung der beiden Tochtertiere voneinander zerfallen die Kernmassen in jedem dann wieder in eine Kette zahlreicher kleinerer Kerne, die eine kurze Zeit lang durch eine gemeinsame Membran miteinander verbunden bleiben (Fig. 339, 10), um sich dann aber bald zu der für die Art charakteristischen Vielzahl von Kernen voneinander zu lösen. Auch Cytostom und Cytopharynx desjenigen Tochtertieres, das beide neu zu bilden hat, erhalten ihre volle Ausbildung erst nach der Trennung beider Tochtertiere voneinander.

Unter den Peritrichen mit linksgewundener adoraler Zone ist der Teilungsverlauf am besten bekannt bei der zu den Urceolariden gehörigen *Trichodina* dank den Untersuchungen von WALLENGREN (1897). Die adorale Zone bleibt während der ganzen Dauer der Teilung

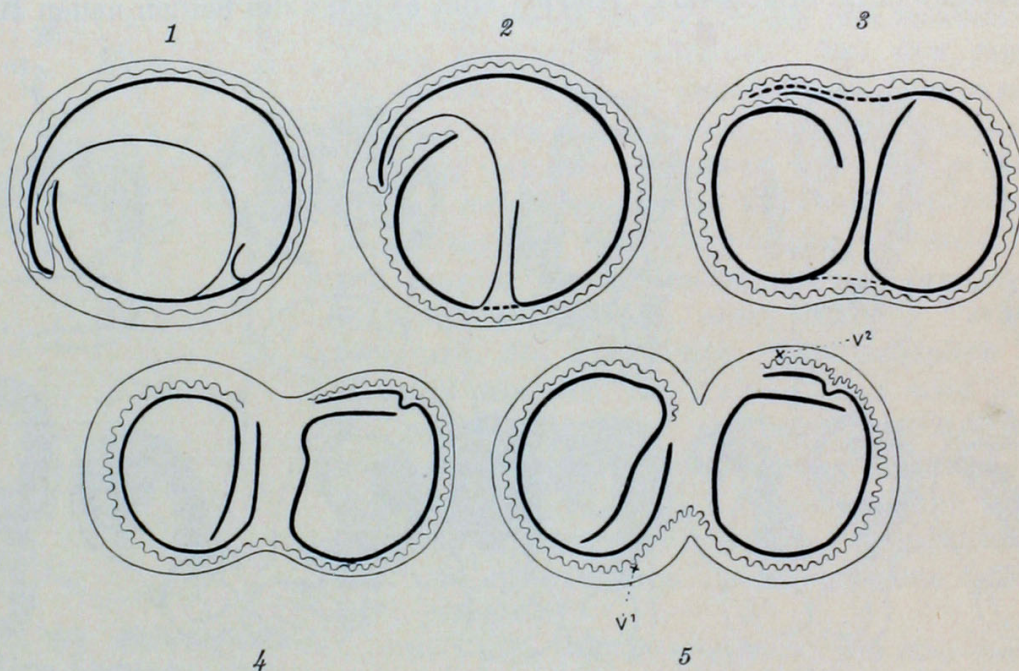
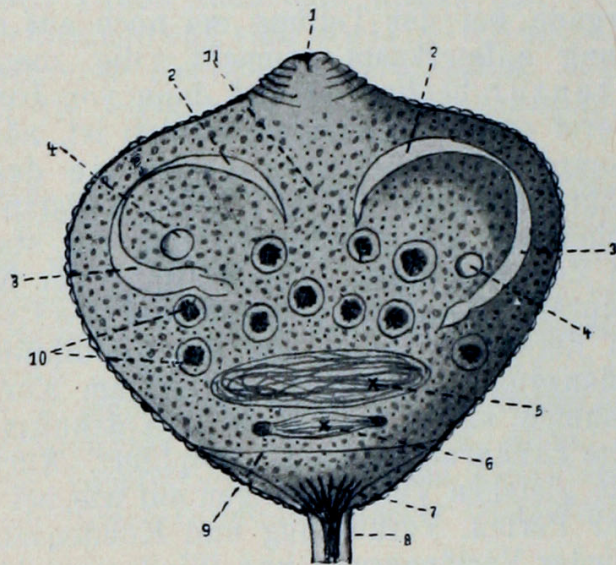


Fig. 340. *Trichodina pediculus* EHRBG. Schematische Darstellung der Teilung, Peristomansicht. Dick ausgezogene Linien = adorale Zone (in 1 und 2 sind die Neubildungen der adoralen Zone für die beiden Tochtertiere als sich abzweigende dünnere Linien gezeichnet). Unterbrochene Linien (in 2 und 3) = in Rückbildung begriffene Teile der adoralen Zone des Muttertieres). Gewellte Linie = Peristomsaum. Kreuze (v^1 und v^2 in Teilfig. 5) Stellen, an denen die neugebildeten Vestibuläreinsenkungen der beiden Tochtertiere auftreten (volle Ausbildung der Vestibula erfolgt erst nach Trennung der beiden Tochtertiere). Nach WALLENGREN 1897.

in voller Entfaltung und Tätigkeit und macht im Gegensatz zu den bisher besprochenen Ciliaten selbst einen charakteristischen, mit Neubildungen verbundenen Teilungsprozeß durch. — Beim Beginn der Teilung werden der Cytopharynx und das Vestibulum mit ihren undulierenden Membranen rückgebildet, und nur eine schwache Einbuchtung bleibt an der Stelle der Vestibulärmündung zurück. Während dann das ganze Peristomfeld etwas in die Quere ausgezogen wird, treten, von der alten adoralen Zone sich nach innen zu abzweigend, die Neuanlagen für die adoralen Zonen der Tochtertiere als zusammenhängende undulierende Membranen auf (in Fig. 340, 1 zum Unterschiede von der alten Zone als dünnere Linien gezeichnet). Von diesen Neuanlagen bleibt die anfangs kürzere linke mit dem oralen, die andere mit dem aboralen Teil der alten Zone in Zusammenhang, und beide ergänzen sich hierdurch zu vollständigen neuen

Zonen (Fig. 340). Hierbei erfahren die beiden Enden der alten Zone charakteristische, aus den Abbildungen ersichtliche Verschiebungen, während ein kurzer mittlerer Teil der alten Zone, der anfangs die beiden Tochterzonen noch miteinander verband, resorbiert wird (in Fig. 340, 2 und 3 durch Punktierung angedeutet). Wenn sich die neuen Vestibula für die beiden Sprößlinge bilden (an den in Fig. 340, 5 durch kleine Kreuze, v^1 und v^2 , gekennzeichneten Stellen), haben sich deren Peristomfelder so weit verlagert, daß sie gegeneinander um 180° gedreht sind (in Fig. 340, 5 ist diese Drehung, namentlich bei dem in der Abbildung linken Peristom, noch nicht beendet). Die volle Ausbildung von Vestibulum und Cytopharynx erfolgt erst nach der Trennung beider Sprößlinge. Saugnapf und Hafring von Trichodina werden direkt durchgeschnürt, und hierbei schließt sich auch in jedem Tochttertier die betreffende Hälfte des alten Hafringes zunächst noch wieder zu geschlossener Ringform zusammen, um aber dann bald resorbiert und durch eine völlige Neubildung ersetzt zu werden, die konzentrisch nach außen vom alten Hafring auftritt.

Fig. 341. **Carchesium poly-pinum** EHRBG. Teilungszustand in seitlicher Ansicht. 1 völlig zusammengezogener Peristomrand, 2 die Peristomhöhlen der beiden Tochtertiere, deren (jedenfalls vorhandener) Zusammenhang miteinander bzw. mit der scheitelständigen Oeffnung nicht sichtbar ist, 3 die beiden Vestibula, 4 die beiden pulsierenden Vakuolen, 5 der Großkern, der sich vorher stark zusammengezogen hatte und sich jetzt unter Querstreckung zur Teilung anschickt, 6 der in Teilung befindliche Kleinkern, 7 Myoneme, die sich zum Stielsmuskel vereinigen, 8 Stiel, 9 Linie, an der der hintere Wimperkranz auftritt (vgl. Fig. 63 und 64 auf S. 41 f.), 10 Nahrungsvakuolen, 11 Stelle, wo der Boden der ursprünglich einheitlichen Peristomhöhle (die alte Wimperscheibe) sich emporwölbt, um durch Verwachsung mit dem alten Peristomsaum sich an der Bildung des Peristomsaumes der beiden Sprößlinge zu beteiligen und hierdurch die Trennung der beiden Tochterperistomhöhlen herbeizuführen (Einzelheiten dieses Vorganges nicht kenntlich). Nach BÜTSCHLI, in LEUCKARTS Wandtafeln.



Bei den Vorticelliden ist die Teilung zwar oft beobachtet, aber doch immer noch erst recht lückenhaft bekannt. Wenn sich eine solche zur Teilung anschickt, zieht sie ihre Peristomscheibe (Wimperscheibe) zurück und schließt den Peristomsaum über ihr (Fig. 341). Dadurch wird die Untersuchung des Verhaltens des Peristoms bei der Teilung wesentlich erschwert. Anscheinend ist dieses aber im wesentlichen das gleiche wie bei den nahe verwandten Urceolariden. Im übrigen sei über die Teilung der Vorticelliden noch folgendes angegeben: Der hufeisenförmige Großkern verkürzt sich zunächst sehr stark und streckt sich erst hierauf wieder zum Zwecke der Teilung in der Querrichtung des Tieres (Fig. 341), während gleichzeitig auch der Kleinkern sich zur (mitotischen) Teilung anschickt. Nach vollendeter Kernteilung muß bei der Körperteilung die Peristomhöhle sich in eine rechte und linke teilen, was nur

durch Verwachsung ihrer Decke (d. h. des zusammengezogenen Peristom-saumes) mit seinem Boden (d. h. der alten Wimperscheibe) geschehen kann. Nach erfolgter Körperteilung soll dann jede der beiden neuen Peristomhöhlen nach außen durchbrechen, die neue Wimperscheibe des Tochtertieres tritt aus der Oeffnung hervor und entfaltet sich, und die adorale Zone tritt in Tätigkeit. Nur wenn ein Sprößling sich löst, um fortzuschwimmen und sich anderswo anzusiedeln (bei den einzeln lebenden Vorticellen), öffnet sich seine Peristomhöhle vorderhand noch nicht. An solchen sich loslösenden Sprößlingen tritt der hintere Wimperkranz auf (vgl. S. 245); wenn sie sich dann festheften, verlieren sie diesen hinteren Wimperkranz wieder, bilden den Stiel und entfalten nunmehr die Wimperscheibe aus der sich weit öffnenden Peristomhöhle. Ueber das Verhalten des Cytopharynx, der kontraktiven Vakuole und des Reservoirs bei der Teilung ist man nicht unterrichtet. — Ueber BÜTSCHLI'S Versuch, die Längsteilung der Vorticelliden mit Hilfe einer anderen Orientierung des Vorticellidenkörpers auf die Querteilung anderer Ciliaten zurückzuführen, vgl. dessen Originalabhandlung (BÜTSCHLI 1886).

Im Anschluß an diese Besprechung des Verhaltens der Wimperorgane bei der Teilung sei noch auf eine sehr interessante Erscheinung aufmerksam gemacht, die zuerst von BALBIANI (1891) bei *Stentor* beobachtet und dann von JOHNSON (1894) bei der gleichen Form erneut untersucht worden ist, nämlich die von Zeit zu Zeit vorkommende vollständige Atrophie des gesamten Apparates der Ernährungsorganellen und seine vollständige Neubildung. Die Erscheinung steht jedenfalls mit der starken funktionellen Abnutzung in Zusammenhang. Der Vorgang der Neubildung des Stirnfeldes, der adoralen Membranellenzonen und des Cytopharynx verläuft dabei genau in derselben Weise wie die Neubildung dieser Teile bei der Fortpflanzung. Anfänglich seitlich am Körper (vgl. S. 328, Fig. 326, A), nehmen sie in dem Maße ihre definitive terminale Lage ein, als der alte Ernährungsapparat atrophiert. Auch am Kern treten dabei genau die gleichen Veränderungen auf wie bei der Teilung: Zusammenfließen der Perlen, Verkürzung und Kondensation des ganzen Kernes, dann wieder Verlängerung und Wiederausbildung der Perlschnurform. Nur eine Teilung des Kernes findet nicht statt, und die Zahl der Perlen wird bei der Wiederherstellung der Perlschnurform nicht, wie es bei der Fortpflanzung geschieht, auf das Doppelte vermehrt, sondern es wird einfach wieder die frühere Zahl hergestellt.

Es liegt nahe, diesen Vorgang mit dem auf S. 355 zu besprechenden Uebergang eines Suctors in den Schwärmzustand zu vergleichen. Man könnte ihn dann gleich diesem als eine „abortive Fortpflanzung“ auffassen.

8) Schließlich sei auch noch des Stigmas (Augenflecks) der Flagellaten gedacht. Angaben über dessen Verhalten bei der Teilung sind freilich sehr spärlich. Bei *Haematococcus* wird das alte Stigma aufgelöst, worauf in beiden Sprößlingen eine Neubildung erfolgt (WOLLENWEBER 1908, REICHENOW 1909). Dagegen soll bei *Euglena* nach ZUMSTEIN (vgl. SENN 1900) und bei *Eutreptia* nach STEUER (1903) eine Teilung des Stigmas erfolgen, was aber in Rücksicht darauf, daß eine solche noch kürzlich auch für *Haematococcus* angegeben wurde (WOLLENWEBER 1907), doch wohl noch der Bestätigung bedarf.

2. Knospung (Gemmatio).

Die Fortpflanzung durch Knospung ist dadurch charakterisiert, daß der sie einleitende Teilungsvorgang nicht wie bei der Zweiteilung zur Bildung von zwei dem Muttertier sowie auch einander gleichen oder doch wenigstens ähnlichen Tochterindividuen führt, sondern daß vielmehr nur das eine Teilprodukt dem Muttertier gleicht, ihm gegenüber auch kaum merklich an Größe abgenommen hat, das andere dagegen wesentlich anders gebaut und in allen typischen Fällen zunächst auch wesentlich kleiner ist. Es macht den Eindruck, daß das Muttertier, ohne selbst wesentliche Einbuße zu erleiden, einen mehr oder weniger kleinen Teil seines Körpers abschnürt, der alsdann unter mehr oder weniger weitgehender Metamorphose zu einem neuen Individuum heranwächst. Dieser von dem Muttertier sich abschnürende Teil wird als *Knosp e* bezeichnet.

Die Knospung wird als *äußere* bezeichnet, wenn die Knospe sich an der freien Oberfläche des Muttertieres, als *innere* dagegen, wenn sie sich im Inneren eines durch Einstülpung entstandenen „Brutraumes“ bildet. In beiden Fällen kann man wieder eine *einfache* Knospung mit Bildung einzelner und eine *multiple* Knospung mit gleichzeitiger Bildung mehrerer Knospen unterscheiden. Eine Sonderstellung nimmt endlich die sogenannte „*endogene Knospung*“ der Cnidosporidien ein.

a) **Knospung bei Suctorien.** Bei den Suctorien ist die Knospung im Gegensatz zu ihrem meist nur vereinzelt Vorkommen in anderen Protozoenklassen die typische, fast ausschließlich herrschende Fortpflanzungsweise. Bei ihnen finden sich auch nicht nur fast alle verschiedenen Hauptformen der Knospung, sondern auch sehr interessante Zwischenformen zwischen typischer Zweiteilung und typischer Knospung, die es uns ermöglichen, die Knospung als eine kompliziertere Fortpflanzungsweise von der einfachen, direkt zu zwei dem Muttertier ähnlichen Tochtertieren führenden Zweiteilung abzuleiten. Wir wollen deshalb diese Gruppe bei unserer Betrachtung voranstellen.

Daß die Knospen der Suctorien in der Regel bewimpert sind, während die ausgebildeten Tiere der Wimperung entbehren, wurde bereits auf S. 245 betont (vgl. auch die Angaben über die Metamorphose S. 266). Nur eine einzige Art, *Acineta swarczewskyi* COLLIN, soll nach SWARCZEWSKY (1908) unbewimperte amöboide Larven besitzen, die wie die bewimperten Larven anderer *Acineta*-Arten durch einfache innere Knospung erzeugt werden.

Typische Zweiteilung kommt unter den Suctorien nur bei der auch im übrigen ganz isoliert stehenden Gattung *Hypocoma* vor (vgl. hierzu auch S. 245), die COLLIN (1912) als eine auf dem Larvenstadium stehenbleibende Form auffaßt. Die Teilung erfolgt hier wie bei den Wimperinfusorien quer zur Längsachse des Körpers.

Zwischenformen zwischen typischer Zweiteilung und typischer Knospung siehe nachstehend unter einfacher äußerer Knospung.

1. Einfache äußere Knospung ist charakteristisch für die Suctorienfamilie der Podophryiden. Speziell in der Gattung *Podophrya* ist aber die Knospe nahezu ebenso groß wie das Muttertier, so daß die Anfangsstadien der Knospung völlig den Eindruck einer ge-

wöhnlichen Zweiteilung machen (vgl. Fig. 342, 1) und erst beim weiteren Fortschreiten des Prozesses die Knospe auf Grund der Rückbildung der Tentakel und Ausbildung der Wimpern vom wimperlosen, tentakeltragenden Muttertier unterschieden werden kann (Fig. 342, 2 u. 5). Die eigenartige Zwischenstellung dieser Fortpflanzungsform wird am besten dadurch illustriert, daß LANG in der 2. Aufl. dieses Werkes sie als Zweiteilung rubriziert, COLLIN (1912) dagegen als Knospung (wenn auch mit dem Zusatz „pseudofissiparität“). Die Teilung erfolgt auch hier wieder wie bei Ciliaten und Hypocoma quer zur morphologischen Längsachse, was freilich in Fig. 342, 1 nicht hervortritt, da das dort abgebildete Exemplar keinen Stiel besitzt (das Vorhandensein eines solchen ist bei Podophrya nicht konstant). Sie beginnt mit einer gleichmäßigen

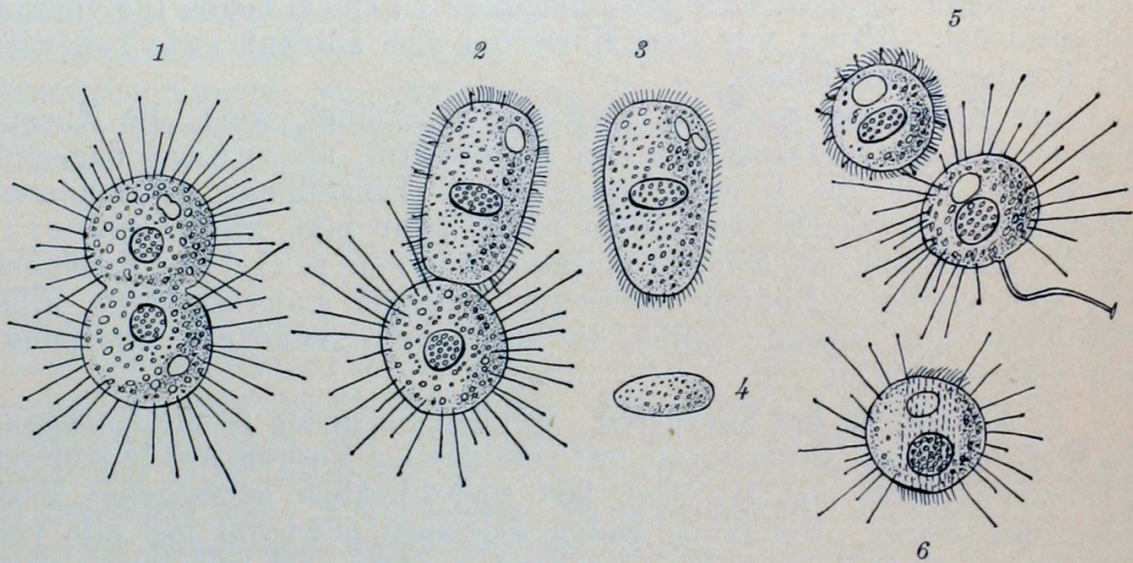


Fig. 342. Fortpflanzung von *Podophrya*, nach dem Leben. 1—4 *Podophrya fixa* (MÜLL.). 1 Frühes Fortpflanzungsstadium, scheinbar äquale Teilung. 2 Späteres Stadium, kurz vor der Ablösung des einen Sprößlings als Larve, an der sich bei gleichzeitigem Schwunde der Tentakel ein Wimperkleid ausgebildet hat. 3 Die ausgebildete frei schwärmende Larve, die nur noch am hinteren Pole wenige kleine Tentakel besitzt. 4 Querschnitt durch die Larve (ohne Darstellung des Wimperkleides), um die starke Abflachung ihres Körpers im Gegensatz zu dem kugeligen Muttertier zu zeigen. 5—6 *Podophrya sandi* COLLIN. 5 Die (in Polansicht dargestellte) Larve hat sich eben von dem gestielten Muttertier losgelöst. 6 Seitenansicht der frei schwärmenden Larve. Nach COLLIN 1912. Vergr. 300:1.

Längsstreckung des Körpers und darauf folgendem Auftreten einer Schnürfurche ungefähr in dessen Mitte. Im übrigen braucht der Fig. 342 wohl kaum etwas hinzugefügt zu werden.

Bei *Sphaerophrya* bietet die Fortpflanzung fast den gleichen Anblick wie bei *Podophrya*, indessen ist hier doch schon nicht selten die Knospe merklich kleiner wie das Muttertier. Indem dieser Größenunterschied sich dann noch weiter verstärkt und konstant wird, entsteht die typische Knospung, wie sie sich bei *Paracineta* findet (vgl. Fig. 342 A). Charakteristisch für sie ist das bruchsackartige Vorwachsen der Knospe am Beginn des Fortpflanzungsprozesses (Fig. 342 A, 1), und wichtig für die Ableitung dieser Knospung von einer Querteilung ist die scheitelständige Lage der Knospe, deren Längsachse freilich auffälligerweise senkrecht zur Längsachse des Muttertieres gerichtet ist (Fig. 342 A, 2).

Die Zahl der Wimperreihen, welche die Larve von *Paracineta* (und ähnlich auch die von *Podophrya*) in querer Richtung umgürten, ist so

groß, daß fast die ganze Oberfläche der Larven bewimpert ist (Fig. 342 und 342 A) und deshalb diese Larven früher als „holotrich“ den typischen „peritrichen“ Suctorienlarven (vgl. Fig. 250 auf S. 245) gegenübergestellt wurden. Bemerkenswert ist auch bei *Paracineta patula* das auffällig frühzeitige Auftreten der Tentakel, noch bevor die Knospe sich vom Muttertier abgelöst hat (Fig. 342 A, 2).

2. Multiple äußere Knospung ist charakteristisch für die den Podophryiden nahestehende Familie der Ephelotiden und bei *Ephelota gemmipara* (Fig. 343) wiederholt genau untersucht (R. HERTWIG 1876 und COLLIN 1912). Hier wird nur ausnahmsweise und bei der Fortpflanzung sehr kleiner Exemplare nur eine einzige Knospe gebildet. Gewöhnlich werden 4 oder 6, seltener 8—12, bei kleinen Exemplaren gelegentlich wohl auch nur 2 Knospen gleichzeitig gebildet. Sie entstehen am Vorderende des Muttertieres in einem einfachen Kranze nach innen von den Tentakeln, die (entgegen der von Fig. 343, b geweckten

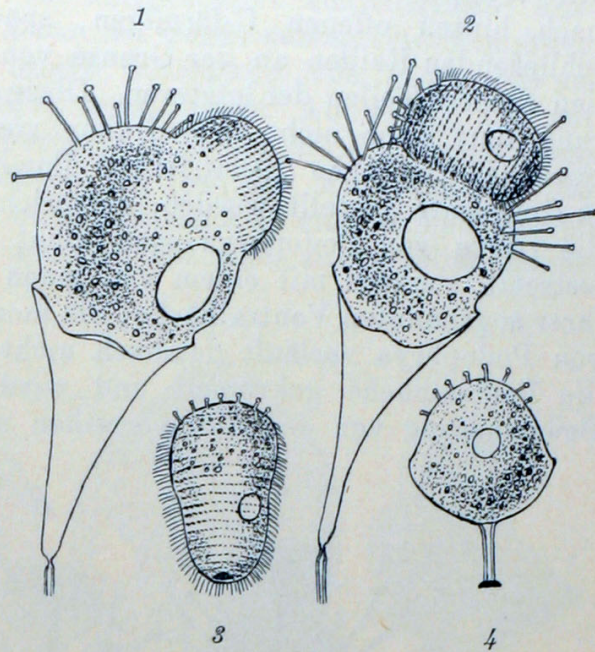


Fig. 342 A. **Knospung von *Paracineta patula*** (CL. u. L.), nach dem Leben. 1 Bruchsackartige Vorwölbung der Knospe. 2 Späteres Stadium. 3 Die abgelöste frei schwärmende Larve. 4 Ein junges Tier, das sich eben festgesetzt hat. Nach COLLIN 1912. Vergr. 400:1.

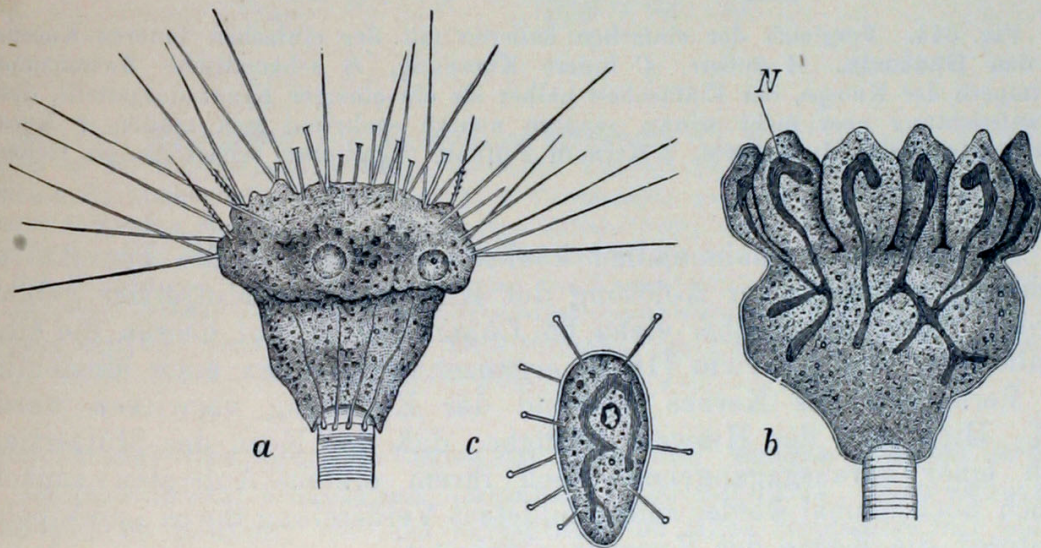


Fig. 343. ***Ephelota gemmipara***. a Ruheform mit ausgestreckten Saugröhrchen und 2 pulsierenden Vakuolen. b Knospungsstadium mit in die Knospen eintretenden Fortsätzen des verästelten Kernes. c Eine einzelne Knospe nach ihrer Loslösung und nach Ausbildung der ersten Saugröhrchen. Nach R. HERTWIG aus CLAUS, Zoologie.

Vorstellung) während der Knospung in der Regel nicht eingezogen werden. Die freie Spitze der einzelnen Knospe bildet den vorderen Pol der sich entwickelnden Larve, die der Hauptachse des Muttertieres zu-

gewandte abgeflachte, zum Teil sogar konkav eingedellte Fläche wird zur Ventralfläche, die gewölbte Außenfläche zur Dorsalfläche der Larve. Die Wimpern der Larve entstehen in mehreren konzentrischen, anfangs nach hinten offenen U-förmigen, später sich zu Ellipsen zusammenschließenden Reihen an der Grenze von Dorsal- und Ventralfläche und in den äußeren Teilen der letzteren. Diese sogenannte „hypotriche“ Bewimperung darf aber nicht, wie früher vielfach geschehen, zu der für die Suctorien typischen „peritrichen“ Bewimperung (vgl. Fig. 250 auf S. 245) in Gegensatz gestellt werden, entspricht dieser vielmehr vollkommen, da die Larve von Podophrya sich nicht mit einem ihrer scheinbaren Pole festsetzt, sondern mit einem von jenen Wimperreihen umgürteten Punkte ihrer sogenannten Ventralfläche; die morphologische Längsachse der Larve von Podophrya verläuft demnach nicht von Pol zu Pol, sondern ist gegen die Ventralfläche gekrümmt und wird wie bei typischer „peritricher“ Bewimperung von den Wimperreihen umgürtet.

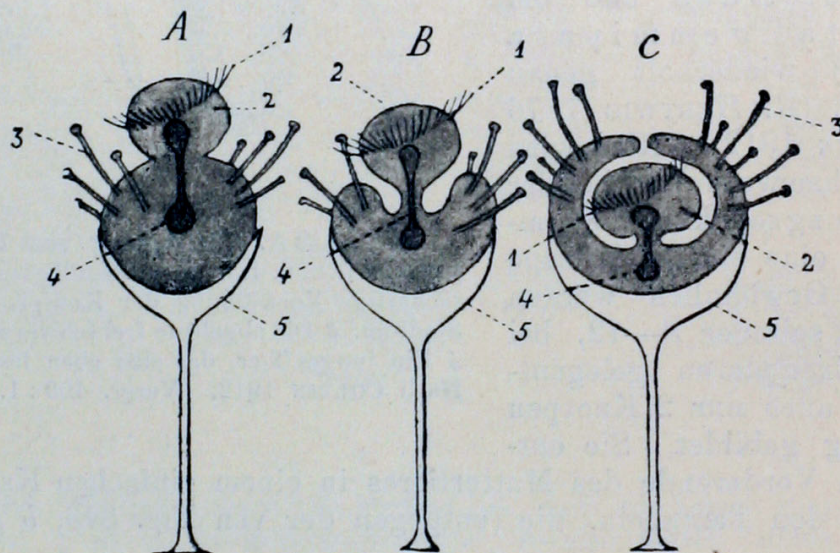


Fig. 344. Vergleich der einfachen äußeren mit der einfachen inneren Knospung bei den **Suctorien**. *A* äußere, *C* innere Knospung, *B* schematische Zwischenform. 1 Wimpern der Knospe, der Einfachheit halber als ein einziger Kranz dargestellt, dessen Verlaufsrichtung aber nicht schräg, sondern nahezu senkrecht sein müßte, 2 Knospe, 3 Saugtentakel des Muttertieres, 4 Kern in Teilung, 5 gestieltes becherförmiges Gehäuse. Schema von LANG.

In seltenen Ausnahmefällen können bei Ephelota die Tentakel der Tochtertiere bereits vor Ablösung der Knospen vom Muttertier gebildet werden. Näheres hierüber siehe bei COLLIN (1912), auf dessen die ältere Schilderung von HERTWIG (1876) ergänzende Angaben auch hinsichtlich des Verhaltens des Kernes während der Knospung verwiesen werden muß. Hier muß der Hinweis genügen, daß der Kern des Muttertieres nach einer vorausgegangenen (nach ihrem ersten Auftreten zunächst jedoch noch einmal wieder rückgebildeten) Verästelung durch „multipolare Amitose“ die Kerne der Knospen abschnürt.

3) Die innere Knospung ist die weitaus verbreitetste Form der Fortpflanzung bei den Suctorien und für nicht weniger als 5 der von COLLIN (1912) unterschiedenen 8 Familien charakteristisch. In der Regel tritt sie als einfache innere Knospung auf und erscheint als solche trotz ihrer weiten Verbreitung doch so gleichförmig, daß die wesentlichen Züge dieser von BÜTSCHLI (1876) für *Tocophrya quadripartita* zuerst geschilderten Fortpflanzungsform überall in gleicher Weise wieder-

kehren. Man kann sie von der einfachen äußeren Knospung ableiten, wenn man annimmt, daß die Stelle, an der sich die Knospe bildet, in den Grund einer von außen in das Körperinnere vordringenden Einstülpung, den sogenannten Brutraum, zu liegen kommt (vgl. Fig. 344). In Fig. 345 ist die einfache innere Knospung von *Tocophrya cyclopum* als Beispiel dargestellt, und dieser Abbildung braucht kaum noch etwas hinzugefügt zu werden. Nur auf die Beziehungen des Brutraumes zur kontraktile Vakuole, die bei der Entwicklung des Brutraumes in die Tiefe gedrängt wird und dann in einen zipfelförmigen Ausläufer des Brutraumes hinein mündet, sei noch ausdrücklich hinge-

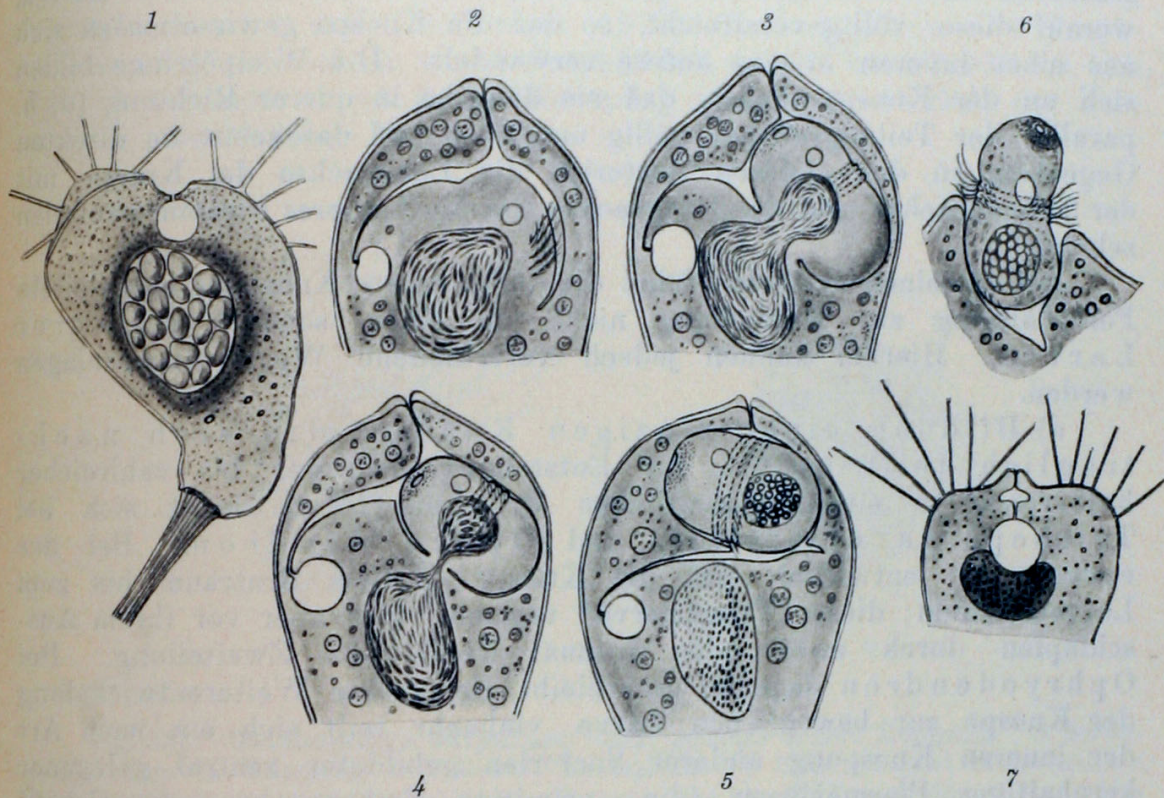


Fig. 345. **Knospung von *Tocophrya cyclopum*** (CL. u. L.). 1 Junges Exemplar, bei dem an der Mündungsstelle der pulsierenden Vakuole die erste Anlage einer künftigen Bruthöhle als kleine Delle sichtbar ist. 2—5 Vorderenden größerer Exemplare mit 4 aufeinander folgenden Stadien der Bildung und Abschnürung einer Knospe (Tentakel des Muttertieres nicht dargestellt). 6 Ausschlüpfen der Knospe aus der Bruthöhle. 7 Vorderende des Muttertieres nach dem Ausschlüpfen der Knospe mit in Rückbildung begriffener Bruthöhle und wieder zur Oberfläche emporsteigender pulsierenden Vakuole (während der Knospung erscheint diese stark in die Tiefe verlagert, vgl. Stadium 2—5). Vergr. von 1 900 : 1, von 2—7 600 : 1. Nach COLLIN 1912.

wiesen, zumal das gleiche Verhalten auch von einigen anderen Arten aus verschiedenen Gattungen (*Acineta*, *Pseudogemma*, *Endosphaera*, *Choanophrya*) bekannt ist und vermutlich bei allen Suctorien mit einer einzigen, apikal gelegenen kontraktile Vakuole und apikaler Lage des Brutraumes wiederkehrt. Die schräge Lage der sich entwickelnden Knospe im Innern des Brutraumes des abgebildeten Exemplares (Fig. 345, 2—4) ist wohl sicher nur durch nebensächliche räumliche Verhältnisse bedingt; jedenfalls ist sie nicht nur bei den Suctorien im allgemeinen, sondern nach COLLIN (1912) selbst auch bei der hier behandelten Art verhältnismäßig selten, und trotz ihr entspricht die Lage der jungen Knospe im Verhältnis zur Teilungsebene (Längsachse der

Knospe senkrecht zur Teilungsachse) völlig dem Verhalten bei der einfachen äußeren Knospung von *Paracinetia* (vgl. Fig. 342 A). Die bei dieser betonte Stellung der Längsachse der Knospe senkrecht zur Teilungsachse nicht nur, sondern auch senkrecht zur Längsachse des Muttertieres bildet auch für die innere Knospung der Suctorien die Regel.

Eine auffällige Ausnahme von dieser Regel scheint freilich *Dendrocometes* zu bilden, der auch dadurch von Interesse ist, daß die Knospe sich nicht innerhalb des Brutraumes, in dem sie zuerst entstanden ist, von dem Mutterboden loslöst. Vielmehr wölbt sich nach BÜTSCHLI die noch festsitzende Knospe aus dem Brutraum hervor, worauf dieser völlig verstreicht, so daß die Knospe gewissermaßen sich aus einer inneren in eine äußere verwandelt. Die Wimperringe bilden sich an der Knospe derart, daß sie dieselbe in querrer Richtung (d. h. parallel der Teilungsebene) völlig umgürten und daß somit im direkten Gegensatz zu den anderen Suctorien die Längsachse der Knospe mit der Teilungsachse und der Längsachse des Muttertieres zusammenzufallen scheint.

Bei einzelnen Suctorien führt die durch innere Knospung eingeleitete Fortpflanzung zur Entstehung nicht nur einer, sondern mehrerer Larven. Hierbei können jedoch verschiedene Wege eingeschlagen werden.

a) Bildung einer einzigen Knospe, die sich nachträglich teilt und so zur Entstehung mehrerer bis zahlreicher Embryonen in einem einheitlichen Brutraum führt, findet sich bei *Trichophrya epistylidis* und *Ophryodendron*. Bei der ersteren Art entwickelt sich die Knospe in dem Brutraum bis zum Larvenstadium; diese „Primärlarve“ vermehrt sich aber vor ihrem Ausschlüpfen durch zwei- oder dreimal wiederholte Zweiteilung. Bei *Ophryodendron* dagegen unterbleibt die direkte Weiterentwicklung der Knospe zur beweglichen Larve, vielmehr teilt sich ein nach Art der inneren Knospung anderer Suctorien gebildeter zentral gelegener kernhaltiger Plasmakörper (die „primitive Embryonalmasse“) alsbald durch wiederholte Zweiteilung in 6—8 kleinere ovale Körper (die „sekundären Embryonen“); erst diese entwickeln die für die Suctorienlarven charakteristischen Wimperringe und schwimmen aktiv in dem Brutraum umher, teilen sich aber auch ihrerseits noch ein- bis zweimal und lassen so die 15—20, auch 30 oder noch mehr „definitiven Embryonen“ aus sich hervorgehen, die später ausschlüpfen (MARTIN 1909). Als eine noch frühzeitigere Zweiteilung einer inneren Knospe (noch vor deren Loslösung vom Mutterboden) deutet COLLIN (1912) eine alte Beobachtung von STEIN (1867) bei *Endosphaera*.

b) Bildung mehrerer Knospen in gesonderten Bruträumen, deren jede sich in der gewöhnlichen Weise zu einer einzelnen Larve entwickelt, findet sich dagegen bei *Dendrosoma*, *Lernaeophrya* und *Trichophrya salparum*. Bei *Dendrosoma* (Fig. 145, S. 144) und der dieser sehr nahestehenden *Lernaeophrya* bilden sich die einzelnen Bruträume mit je einer einzigen Knospe an ganz verschiedenen Stellen des umfangreichen Muttertieres unabhängig voneinander und ohne zeitlichen Zusammenhang; wir können deshalb hier jede einzelne Knospenbildung als eine gesonderte einfache Knospung betrachten. Bei *Trichophrya salparum* dagegen entstehen zwar auch 15—20 Knospen in je einem einzelnen Brutraum, aber die Bildung

dieser Knospen erfolgt hier gleichzeitig und in direktem räumlichen Zusammenhang (Fig. 346), ähnlich wie *Ephelota gemmipara* gleichzeitig mehrere Knospen bildet; nach Analogie mit *Ephelota* müssen wir deshalb hier von einer multiplen inneren Knospung sprechen.

Schließlich ist hier auch noch anzuführen, daß gelegentlich bei den Suctorien sich das ganze Tier in einen durchaus seiner Larve entsprechenden Schwärmer rückverwandeln kann, eine Erscheinung, die nicht etwa dem Uebergang der Vorticellen aus dem festsitzenden in den beweglichen Zustand verglichen werden darf, wie dies BÜTSCHLI (1889) auf Grund der damaligen noch unvollkommeneren Kenntnisse tun wollte, die vielmehr nur durch Vergleich mit der Knospung verständlich wird und von COLLIN (1912) als eine „abortive Fortpflanzung“ bezeichnet wird. Je nachdem, ob die betreffende Art sich durch äußere oder durch innere Knospung fortpflanzt, verläuft der Vorgang in verschiedener Weise.

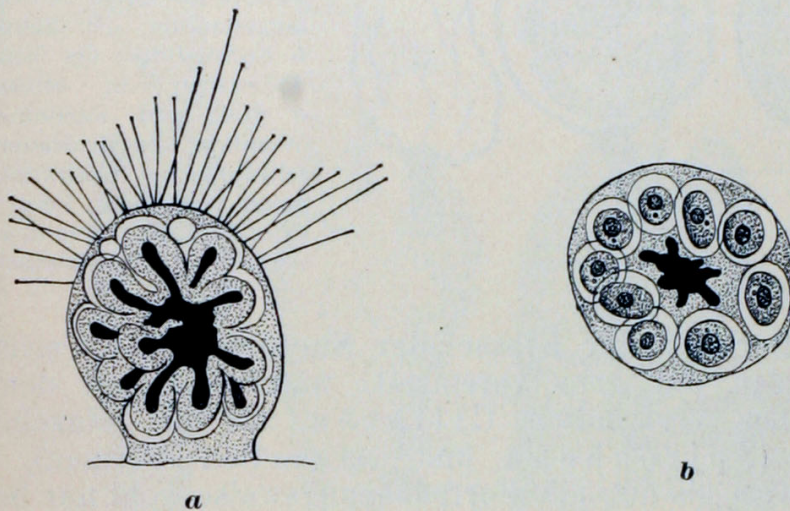


Fig. 346. **Trichophrya salparum** ENTZ, multiple innere Knospung. *a* Seitenansicht eines in Knospung befindlichen Exemplares. *b* Scheitelansicht eines anderen Exemplares mit den fertig ausgebildeten Knospen, die zum Teil auch den Mikronucleus erkennen lassen, in ihren einzelnen Bruträumen. Vergr. 335:1. Nach COLLIN 1912.

1) Bei Formen mit äußerer Knospung, wie *Sphaerophrya*, *Podophrya*, *Metacineta*, geht der ganze Körper, falls er ungestielt ist, restlos in den Körper des Schwärmer über; andernfalls bleibt lediglich der Stiel übrig, indem sich das Tier von diesem ablöst. Aber selbst in diesem einfachen Falle entspricht diese Ablösung nicht der Ablösung der Vorticelle von ihrem Stiel, weil ganz wie bei der Knospung (vgl. Fig. 342 A) die Achse des gebildeten Schwärmer (und dementsprechend auch die Achse des aus ihm wieder hervorgehenden späteren festsitzenden Tieres) senkrecht zur Achse des in den Schwärmer übergehenden festsitzenden Tieres steht. Der Schwärmer ist also eine typische Larve, wie sie bei der Knospung entsteht, nur daß bei seiner Bildung kein Mutterkörper übrig bleibt.

2) Bei Formen mit innerer Knospung, wie *Dendrocometes*, *Stylocometes*, *Tocophrya*, ist die Analogie mit der Knospung noch deutlicher, indem hier die Umwandlung in den Schwärmer ganz wie die Knospung in einem durch Einstülpung entstehenden Brutraum erfolgt (Fig. 347). Die Achse des sich entwickelnden Schwärmer steht auch wieder senkrecht zur Achse des festsitzenden „Muttertieres“ (vgl.

Fig. 347, a). Nur die Kernteilung unterbleibt, der weitaus größte Teil des Suctorienkörpers geht in den Körper des Schwärmers über, und nach dessen Ausschlüpfen bleibt von dem „Muttertier“ nur der Stiel, die Pellicula und die innere Wandung des Brutraumes übrig, so daß BÜTSCHLI (1877) diesen Vorgang vom physiologischen Gesichtspunkt aus einer Häutung vergleichen konnte. Biologisch ist er insofern von Wichtigkeit, als er stets dann stattfindet, wenn die Wirte der betreffenden Suctorien sich häuten (*Dendrocometes paradoxus* lebt auf den Kiemenblättchen von *Gammarus pulex*, *Stylocometes digitatus* auf denen von *Asellus aquaticus* und *Tocophrya cyclopum* auf *Cyclops*, *Diaptomus* und *Gammarus*); der Uebergang in den Schwärmerzustand ermöglicht demnach diesen Suctorien die Wiederansiedelung auf der neugebildeten Cuticula ihres Trägers.

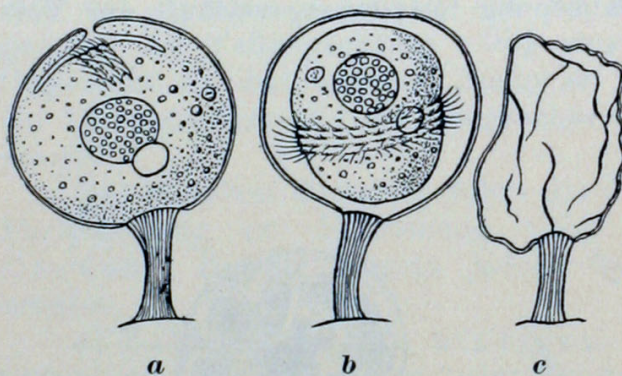


Fig. 347. ***Tocophrya cyclopum*** (CL. u. L.). Umwandlung des ganzen Suctors in einen Schwärmer. **a** Anfangsstadium der Schwärmerbildung. **b** Endstadium; der fertig ausgebildete Schwärmer in seinem Brutraum. **c** Stiel und zusammengeschrumpfte Wandung des Brutraumes, nach Ausschlüpfen des Schwärmers dem Untergange verfallend. Vergr. 435:1. Nach COLLIN 1912. Aus dem Handwörterbuch der Naturwissenschaften.

b) **Außerhalb der Klasse der Suctorien** findet sich Knospung bei Protozoen nur ganz vereinzelt: unter den mit den Suctorien am nächsten verwandten Ciliaten nur bei einzelnen Peritrichen (*Spirochona* und verwandten Formen), unter den Sarcodinen als normale Fortpflanzungsweise wohl nur bei einzelnen Heliozoen (*Acanthocystis*, *Wagnerella*), denn die sogenannte *Leydenia gemmipara* kann als eine normale Protozoenform wohl sicher nicht betrachtet werden. Unter den Flagellaten ist sie bei einzelnen Chrysomonadinen beobachtet (Fig. 352); die sogenannte Knospung von *Noctiluca* ist dagegen in Wirklichkeit eine multiple Teilung, vgl. S. 368. In verhältnismäßig weiter Verbreitung findet sich dann aber wieder eine eigentümliche Art von Knospung (endogene Knospung) bei Cnidosporidien. Bei Sporozoen fehlen dagegen Knospungsvorgänge gänzlich.

1) **Ciliata.** Bei der von WALLENGREN (1895) näher untersuchten *Spirochona scheutenii*, die auf *Gammarus locusta* lebt (Fig. 348), zeigt sich die erste Anlage einer Knospe in Form einer kleinen Vorwölbung an der Basis des Halses. Im Bereich dieser Vorwölbung senkt sich dann die Pellicula mehr und mehr ein zur Bildung einer von Wimpern ausgekleideten, durch einen feinen wimperlosen Kanal nach außen mündenden Höhlung, der Anlage des Peristoms des Tochtertieres (Fig. 348, 1—2). Während diese sackförmige Anlage des neuen Peristoms sich mehr und mehr in die Tiefe senkt, wird die ganze Knospe mehr und mehr von dem Muttertier abgeschnürt (Fig. 348, 3). Inzwischen haben sich auch Groß- und Kleinkern geteilt, wobei der eine Tochterkern von beiden in die Knospe zu liegen kommt, der andere im Muttertier verbleibt. Schließlich hängt die Knospe mit dem Muttertier nur noch durch eine dünne Plasmabrücke zusammen, mit deren Hilfe sie auf der

schüsselartig vertieften Oberfläche eines niedrigen sockelartigen Fortsatzes des Muttertieres aufsitzt (Fig. 348, 4). Eine geraume Weile bleibt die Knospe noch so sitzen, endlich aber löst sie sich vollständig ab, um sich an einem Gammarus festzusetzen und zu verwandeln. Vor ihrer Loslösung dreht sich die Knospe, die während des größten Teiles ihrer Entwicklung die Seite mit der Peristomanlage dem Muttertier zugewandt hatte, noch in charakteristischer Weise um 90° um ihre eigene Längsachse (vgl. Fig. 348, 4).

Der Vorgang der Knospung kann sich mehrere Male an demselben Muttertier wiederholen und verläuft zuweilen so lebhaft, daß eine zweite Knospe schon entsteht, bevor noch die ältere abgelöst ist (Fig. 348, 4).

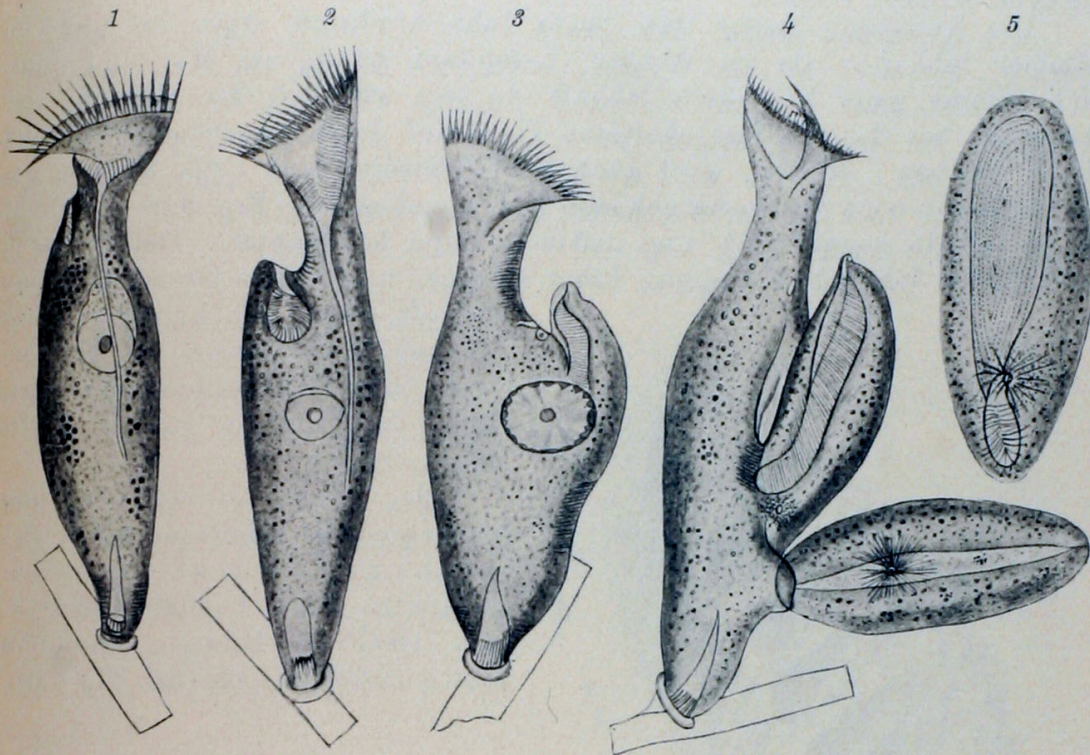


Fig. 348. *Spirochona scheutenii* St. Knospung. In 4 sind 2 verschieden alte Knospen gleichzeitig vorhanden, die ältere von beiden, die sich in charakteristischer Weise um 90° gedreht hat und dem Beschauer ihre Ventralfläche zukehrt statt, wie in jüngeren Stadien, die Seitenfläche, steht kurz vor der Ablösung. 5 Frei schwärmende Knospe. Im übrigen vgl. den Text. Nach WALLENGREN 1895.

Die abgelöste Knospe (Fig. 348, 5), welche träge herumschwimmt, hat keinerlei Ähnlichkeit mit dem Muttertier. Sie ist annähernd eiförmig, nach hinten etwas verjüngt und im ganzen etwas abgeflacht mit gewölbter Dorsalfläche. Die Ventralfläche ist in dem vorderen Körperteil nahezu in ganzer Breite konkav vertieft, während nach hinten zu diese Vertiefung sich in eine noch stärker eingesenkte Rinne fortsetzt. Die ganze vertiefte Fläche ist mit Cilien bedeckt, den einzigen überhaupt am Körper vorhandenen, die während des nur kurzdauernden Schwärmstadiums als Bewegungsorganellen dienen und als solche auch bereits bei der Ablösung der Knospe vom Muttertier eine Rolle spielen.

Schließlich heftet sich die Knospe an einer Borste eines Gammarusbeines fest und zwar mit einer dem Hinterende genäherten Stelle der Ventralfläche, die, ungefähr an der Grenze von konkaver Fläche und stärker vertiefter Rinne gelegen, durch eine charakteristische Strahlen-

figur gekennzeichnet ist und an der ein schleimiges, bald erhärtendes und die Festheftung vermittelndes Sekret abgeschieden wird.

Nach der Festheftung werden alsbald die Cilien in dem hinter dem Haftapparat gelegenen Teil der ventralen Rinne resorbiert, während diese selbst die Borste des Gammarusbeines umfaßt. Die vor dem Haftapparat gelegene Konkavität wird in ihrem hinteren Teile ausgeglichen, während gleichzeitig auch hier die Wimpern resorbiert werden. Nur der vordere Teil der vertieften Ventralfläche behält seine Wimperbekleidung und läßt das Peristom des ausgebildeten Tieres aus sich hervorgehen. Inzwischen ist unmittelbar nach der Festheftung auch bereits die halsartige Einschnürung aufgetreten, die das Vorderende vom übrigen Körper absetzt.

Die Knospung findet das ganze Jahr hindurch statt, ist aber im Sommer lebhafter als im Winter (besonders häufig im Mai und Juni) und scheint ganz besonders lebhaft zu sein zur Zeit der Häutung der Gammari, bei der die festgehefteten Tiere auf der abgeworfenen Cuticula sitzen bleiben. Hierbei wird auch häufig bereits eine neue Knospe gebildet, bevor noch die vorhergehende sich abgelöst hat (Fig. 348, 4); nicht selten wurde sogar noch eine dritte Knospe beobachtet. Derart rasch aufeinander folgende Knospung führt zu einer merklichen Größenabnahme

und oft genug schließlich zu einer völligen Erschöpfung des Muttertieres (mit Rückbildung des Peristoms beginnende völlige Rudimentation).

Bei einer anderen zu den Spirochoninen gehörigen, als *Kentrochonopsis multipara* bezeichneten Form beobachtete DOFLEIN (1897) die Bildung besonders zahlreicher Knospen (vgl. Fig. 349).

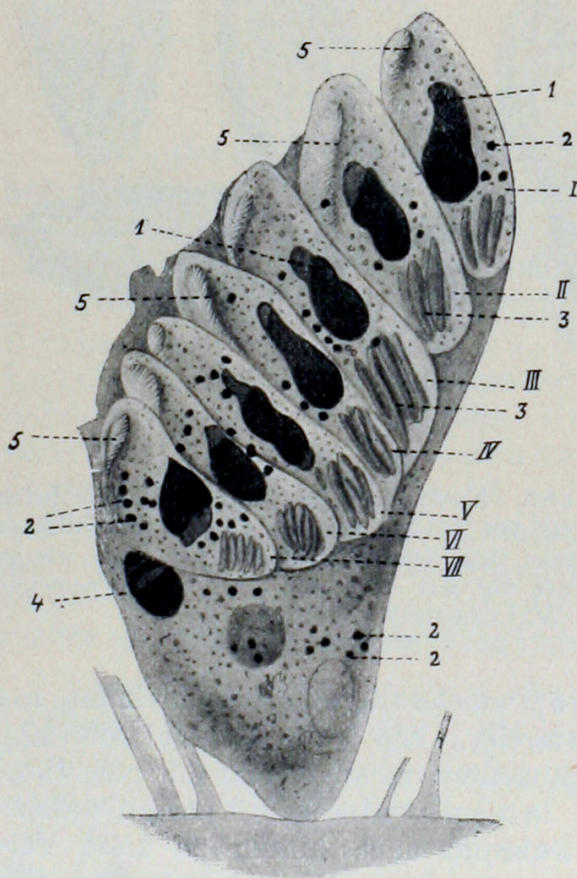


Fig. 349. *Kentrochonopsis multipara* DOFL. mit 7 Knospen (I—VII), die wahrscheinlich nicht ganz gleichzeitig, sondern in der Reihenfolge der Numerierung (I als älteste) gebildet wurden. 1 Makronuclei der Knospen, 2 Mikronuclei in den Knospen und im Muttertier (das ruhende Tier hat 6 Mikronuclei, „deren Vermehrung bei der Knospung zu einem wahren Gewimmel dieser Gebilde führt“), 3 Anhäufungen färbbarer Substanz von unbekannter Bedeutung, 4 Makronucleus des Muttertieres, 5 Peristomanlagen der Knospen. Nach DOFLEIN 1897.

2. Sarcodina. a) *Leydenia gemmipara* ist ein amöbenähnliches, in der Bauchhöhlenflüssigkeit eines asciteskranken Menschen gefundenes Protozoon, das sich dort durch Teilung wie durch Knospung vermehrte. Beide Vermehrungsweisen sind aber durch kontinuierliche Uebergänge miteinander verbunden, und die Größe der Knospen wechselt innerhalb weiter Grenzen. Auch können die Knospen alsbald nach ihrer Losschnürung vom Mutterkörper selbst wieder zur Teilung schreiten. Bei

der Teilung teilt sich der Kern amitotisch in zwei gleich große Tochterkerne, und beiden werden dann auch gleich große Portionen Protoplasma zugeteilt. Bei der Knospung erfolgt die Kernteilung in gleicher Weise, aber der eine Tochterkern wird kleiner als der andere und erhält auch eine entsprechend kleinere Plasmamenge zugeteilt. Die Größe der Knospe ist immer proportional der Größe ihres Kernes. Die ganze Art der Knospung macht entschieden den Eindruck einer degenerierten Teilung. — Der eigenartige Parasit ist nicht wieder gefunden worden, und die Ascitesflüssigkeit ist sicher nicht sein normaler Wohnsitz. Es ist daher wahrscheinlich, daß die sogenannte *Leydenia* keine selbständige Protozoenart ist, sondern daß es sich nur um die Degenerationsform eines anderen Sarcodinen handelt, der vielleicht durch die infolge des lange bestehenden Ascites veränderte Darmwandung hindurch in die Bauchhöhle hineingelangt ist. SCHAUDINN (1903) selbst hat die *Leydenia* später als eine sich atypisch vermehrende Degenerationsform von *Chlamydomphrys stercorea* betrachtet.

b) *Heliozoen*. Ueber Knospungsvorgänge bei *Heliozoen* sind wir durch Untersuchungen, die SCHAUDINN (1896) an mehreren Arten der Gattung *Acanthocystis* angestellt hat, recht gut unterrichtet. Die Knospung kommt hier neben der Fortpflanzung durch Zweiteilung vor und kann mit ihr abwechseln.

Während bei der Teilung das Zentralkorn sich ganz wie das Centrosom einer Metazoenzelle verhält (vgl. S. 152), der Kern sich unter dem Bilde einer Mitose teilt (vgl. außer Fig. 350, B auch Fig. 150, II d—e, S. 151, Fig. 323, S. 325) und die Pseudopodien, deren Achsenfäden ja von dem Zentralkorn ausstrahlen, vermutlich im Zusammenhang mit dessen Mitwirkung bei der Teilung eingezogen werden, bleibt das Zentralkorn an den Knospungsvorgängen gänzlich unbeteiligt. Dementsprechend teilt sich der Kern bei der Knospung direkt (Fig. 350, A), und die (in dieser Figur allerdings nicht dargestellten) Pseudopodien werden nicht eingezogen.

Die Knospung beginnt damit, daß das Karyosom des Kernes sich in die Länge streckt, hantelförmig wird und sich hierauf durchschnürt, worauf die Durchschnürung des ganzen Kernes folgt. (Die Einzelheiten dieser Kernteilung bedürfen auf Grund der neueren Fortschritte in der Erkenntnis der Struktur der Protozoenkerne erneuter Untersuchung; es scheint aber nicht unwahrscheinlich, daß es sich um die Promitose eines echten Karyosomkernes handelt; vgl. S. 145 f.) Die Kerne können sich in gleicher Weise noch wiederholt teilen, so daß die betreffenden *Acanthocystis*-Individuen mehrkernig werden, während stets nur ein einziges Zentralkorn zu beobachten ist.

Während nun ein Kern im Zelleib des Muttertieres zurückbleibt, „rückt der andere (bzw. die anderen) an die Oberfläche, wobei er etwas feinkörniges Endoplasma mitnimmt; er wird dort von grobkörnigem Ektoplasma¹⁾ umhüllt, wölbt mit seinem Plasma allmählich die aus tangentialen und radiären Nadeln bestehende Kieselschale buckelartig hervor (Fig. 350, A, links unten) und schnürt sich schließlich als kugelige Knospe ganz von dem Muttertier ab, indem tangentiale Nadeln zwischen seiner Oberfläche und der des Muttertieres abgelagert werden (Fig. 350, A, oben). Der ganze Prozeß vom Beginn der Kerndurchschnürung bis zur

1) Ueber diese Differenzierung von Endo- und Ektoplasma, besser Mark- und Rindenplasma der *Heliozoen* vgl. S. 154.

Ablösung der Knospe dauert 2—4 Stunden. Dasselbe Tier kann sehr zahlreiche Knospen produzieren (bis zu 24 gezählt), die häufig noch einige Zeit mit dem Muttertier vereint bleiben und so große Kolonien bilden.“

Bei der die Knospung einleitenden Kernteilung sind die beiden entstehenden Tochterkerne nicht immer gleich groß. Vielmehr kann der-

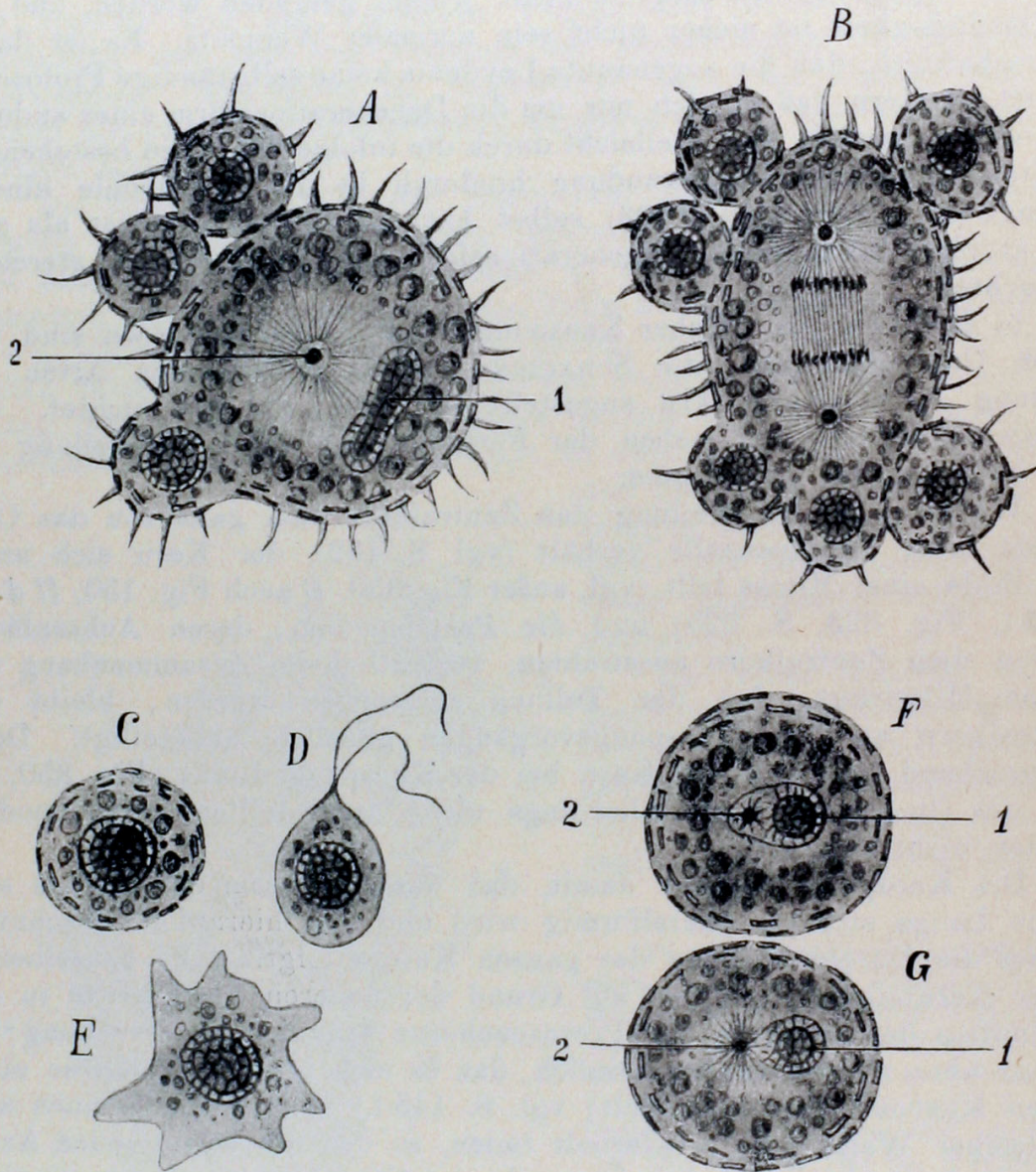


Fig. 350. *Acanthocystis aculeata* HERTW. u. LESS. Knospung. *A* 2 Knospen abgeschnürt, eine dritte in Abschnürung begriffen; der Kern (1) in direkter Teilung zum Zweck der Bildung einer neuen (vierten) Knospe, das Zentralkorn (2) beteiligt sich nicht an der Knospungsbildung. *B* Ein in Zweiteilung begriffenes Exemplar mit 6 Knospen. *C* Eine einzelne abgelöste Knospe. *D* Knospe zu einem Schwärmer (Flagellospore) umgebildet. *E* Amöboid gewordene Knospe (Amöbospore). *F* Auftreten des Zentralkornes im Kern einer Knospe. *G* Austritt desselben aus dem Kern. Nach SCHAUDINN 1896.

jenige, der zum Knospenkern wird, sehr viel kleiner sein als der im Muttertier verbleibende, so daß man auch von einer Kernknospung sprechen kann.

Nach der Knospung ist das Muttertier alsbald wieder zur Fortpflanzung durch Zweiteilung befähigt (vgl. Fig. 350, *B*).

Die ausgebildeten Knospen entbehren sowohl des Zentralkorns wie der Pseudopodien. Ihr weiteres Schicksal ist verschieden; SCHAUDINN hat folgende 5 Fälle beobachtet:

1) Im einfachsten Falle löst sich die Knospe mit ihrer Kieselhülle ganz vom Muttertier los und fällt zu Boden, wo sie einige Tage in Ruhe verharret.

2) In anderen Fällen kann ihr Kern sich wiederholt direkt teilen, worauf sie in eine entsprechende Anzahl von Tochterknospen zerfällt.

3) Die Knospe kann aber auch ihre Hülle verlassen, 2 Geißeln bilden (Fig. 350, *D*) und sich träge eine Strecke weiter bewegen; doch setzt sie sich gewöhnlich bald fest und wird amöboid, indem sie einige kurze stumpfe Pseudopodien entwickelt (Fig. 350, *E*). Die Ausbildung langer Pseudopodien mit Achsenfäden wurde dagegen nie beobachtet. Nach 1—2 Tagen rundet sich dann die Amöbe kugelig ab und beginnt im Innern in der Umgebung des Kernes kleine Kieselnadeln abzuscheiden, die dann an die Oberfläche rücken und sich dort tangential anordnen. Die radiären Nadeln werden erst viel später, aber ebenfalls in der Nähe des Kernes gebildet (vgl. hierzu die Schalenbildung bei *Euglypha* auf S. 336 f.).

4) Nicht immer entwickelt die Knospe beim Verlassen der Hülle die Geißeln, sondern sie kann auch gleich als kleine Amöbe auswandern.

5) Wenn der Kern der Knospe sich vorher wiederholt geteilt hatte, so wandern nicht selten mehrere kleine Amöben aus der Hülle hervor.

Zwischen diesen verschiedenen Entwicklungsweisen können auch verschiedene Uebergänge vorkommen. „So kann z. B. schon aus der noch nicht abgeschnürten Knospe der Weichkörper als Amöbe oder Schwärmer ausschlüpfen oder eine Amöbe kann erst später sich zum Schwärmer umbilden, doch sind dies alles nur Modifikationen desselben Vorganges, nämlich der Knospung, die ihren Charakter durch die direkte Kernteilung erhält. Das Resultat all dieser Abarten der Knospung ist auch stets dasselbe, nämlich ein kleiner kugelig Organismus mit zentral gelegenem, bläschenförmigem Kern und mit einer Kieselhülle, die sich aus stäbchenförmigen, tangential gelagerten Nadeln zusammensetzt (Fig. 350, *C*). Die Knospe nimmt nach der Ablösung vom Muttertier einige Tage keine Nahrung auf, weil sie überhaupt keine Pseudopodien entwickelt.“ Nach 3—4 Tagen sind aber die meisten stark lichtbrechenden Körner im Rindenplasma der Knospe, die sie vom Muttertier mitbekommen hatte, verschwunden; dieselben stellen also offenbar Reservenahrung dar und sind ein weiterer Beweis dafür (wenn es eines solchen noch bedürfte), daß das Rindenplasma der Heliozoen nicht dem Ektoplasma, sondern einem Teile des Endoplasmas anderer Protozoen entspricht (vgl. außer S. 154 namentlich auch S. 102). Am 4. Ruhetage tritt in der Knospe ein neues Zentralkorn auf, das zuerst im Kerne entsteht und aus diesem im Verlauf mehrerer Stunden ziemlich plötzlich heraustritt (Fig. 350, *F*, *G*; vgl. auch S. 152). Am 5., nur selten schon am 4. Tage ist dann das Zentralkorn mit der von ihm ausgehenden Strahlung in typischer Weise ausgebildet und werden hierauf die Pseudopodien ausgesandt.

Bei einigen anderen, ein Zentralkorn besitzenden Heliozoen (*Heterophrys*, *Raphidiophrys*, *Sphaerastrum*) erfolgt die Knospung nach SCHAUDINN in im wesentlichen gleicher Weise wie bei *Acanthocystis*. Bei der von ZUELZER (1909) untersuchten *Wagnerella* finden sich dagegen be-

merkwürdige Abweichungen. Den Beginn der Knospung bildet hier eine in dem Basalteil des Tieres (vgl. Fig. 261 auf S. 255) stattfindende ungleichhälftige Kernteilung, bei der aus dem Mutterkern ein in diesem bereits vorgebildeter, ein Karyosom enthaltender Sekundärkern austritt (vgl. S. 149 f.). Dieser Sekundärkern wandert dann durch den Stiel in das Köpfchen des Tieres (vgl. hierzu S. 256 f.), wo er zunächst eine ziemlich zentrale Lage in der Nähe des Zentralkorns einnimmt. Dort grenzt sich dann um ihn herum eine dem Plasma des Köpfchens entstammende Plasmaportion ab, derart, daß die so entstehende Knospe im Innern eines allseitig geschlossenen Hohlraumes liegt (endogene Knospung). Bald wandert dann die Knospe durch das Plasma des Köpfchens hindurch an dessen Oberfläche, veranlaßt dort zunächst eine halbkugelige Ausbuchtung der Nadelhülle und tritt schließlich als nackte

amöboid bewegliche Zelle durch diese hindurch nach außen. Kurze Zeit darauf beginnt die Bildung der charakteristischen Kieselnadeln im Plasma und nach abermals einiger Zeit setzt sich die Knospe, deren Kern inzwischen eine exzentrische Lage angenommen hat, fest, streckt sich in die Länge und wächst zu einem dem Muttertier gleichen Organismus heran. Ausbildung von Geißeln wurde an den Knospen von *Wagnerella* nie beobachtet, wohl aber können diese Knospen sich ähnlich den amöboiden Formen von *Acanthocystis* teilen; diese Teilung kann bereits stattfinden, wenn die fertig ausgebildete Knospe noch im mütterlichen Brutraum eingeschlossen ist, aber ebenso auch bei der be-

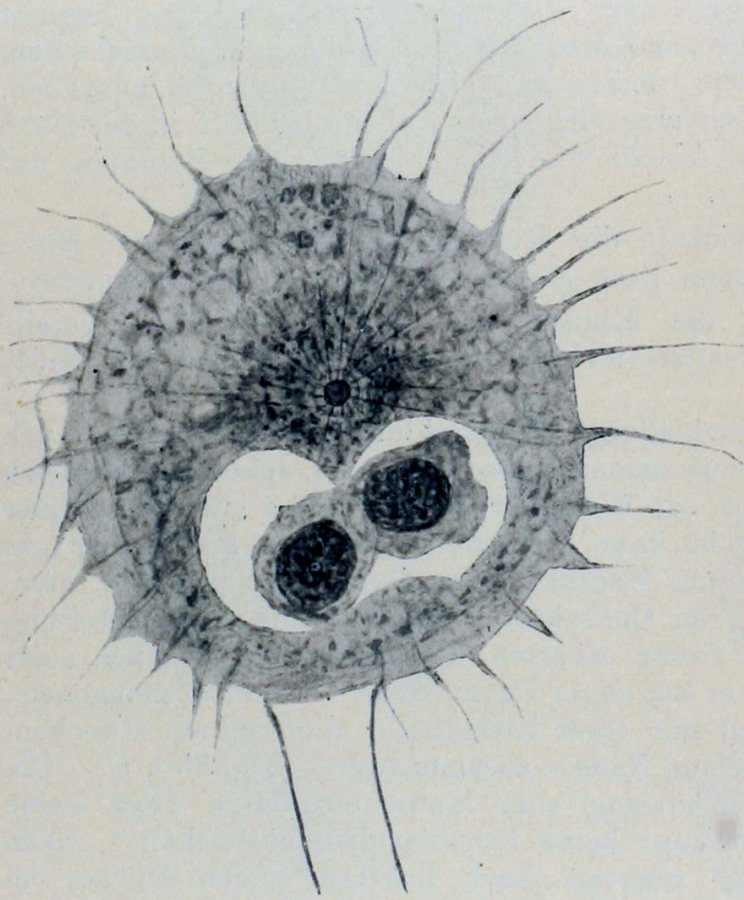


Fig. 351. *Wagnerella borealis*. Köpfchen mit 2 endogenen Knospen. Nach ZÜLZER 1909 aus HARTMANN 1913.

reits ausgeschlüpften jungen, noch skelettlosen Knospe. Andererseits können aber auch von dem mütterlichen Kerne aus mehrere Knospenkerne nahezu gleichzeitig gebildet werden (bis 7 wurden beobachtet) und infolgedessen auch mehrere Knospen in einem einheitlichen Brutraum gebildet werden (Fig. 351). Wenn nun z. B. 4 oder 5 Knospen gleichzeitig im Köpfchen vorhanden sind, die sich amöboid nach verschiedenen Seiten hinbewegen, geschieht es nicht selten, daß sich mit den Knospen das ganze Köpfchen ablöst und noch einige Zeit mit ausgestreckten und auch noch lebhaft Körnchenströmung aufweisenden Axopodien im Wasser herumflottiert. Solche abgelösten Köpfchen gehen nach dem Ausschlüpfen der Knospen

infolge ihres Kernmangels natürlich stets zugrunde, werden aber von dem Muttertier regeneriert.

c) Endogene Knospung bei Amöbozoen. Auch bei *Arcella vulgaris* will SAWRCZEWSKI (1908) eine endogene Knospung beobachtet haben, indem sich innerhalb des Plasmakörpers der *Arcella* amöboide Plasmateile abgrenzten, um später als kleine kernhaltige Amöben auszuschlüpfen. Die Kerne der *Arcella* bleiben hierbei in Ruhe; die Kerne der angeblichen Knospen sollen aus der Chromidialmasse sich abtrennen. Die Beobachtung ist der Bestätigung bedürftig, da es sich sehr wohl wie bei der von demselben Autor geschilderten multiplen Vermehrung der *Arcella* um *Nuclearia*-ähnliche Parasiten gehandelt haben kann¹⁾.

Nicht minder zweifelhaft sind ähnliche Angaben von SCHMIDT (1913) über endogene Knospung („Merozoiten“-Bildung des Verfassers) bei *Amoeba aquatilis*: „Nach etwa 4—5 Tagen des vegetativen Lebens der Amöbe sieht man kleine sich ähnlich wie der Kern färbende Körnchen auftreten, die von einer hellen Zone umgeben sind. Die größten davon etwas größer als der Kern, von dem sie sich nur durch ihre geringere Färbbarkeit unterscheiden. Stets bleibt der Kern als stark hervortretendes Gebilde erhalten bis kurz vor dem Ausschlüpfen der jungen Amöbchen, wo er dann vollständig degeneriert und zerfällt.“ „Einmal gelang es mir, das Ausschlüpfen dieser jungen Amöbchen oder Merozoiten zu verfolgen. Es krochen dabei zwei Tochtertiere aus dem Muttertiere aus, dieses aber bewegte sich mit den übrigen, offenbar noch nicht reifen Tochtertierchen im Inneren ruhig weiter.“ Sollten nicht vielleicht auch hier die vermeintlichen Tochtertiere in Wirklichkeit Parasiten der Amöbe gewesen sein?

d) Cnidosporidien. In weiter Verbreitung finden wir dagegen eine endogene Knospung, bei der innerhalb eines vielkernigen Mutterorganismus um einen einzelnen oder um einige wenige benachbarte Kerne herum sich eine Plasmamasse abgrenzt und so zur Anlage eines ringsum von mütterlichem Plasma umschlossenen Spröhlings wird, bei den Cnidosporidien. Bei allen polysporen Myxosporidien und ebenso bei den polysporogenen Mikrosporidien (Gattung *Glugea*) entstehen auf diese Weise die sogenannten Pansporoblasten und auch die Bildung der einzelnen Sporoblasten der Myxosporidien ist als ein ganz entsprechender Vorgang aufzufassen, da diese nicht nur bei den disparen Myxosporidien von dem mütterlichen Plasma umschlossen bleiben, sondern auch bei den polysporen Myxosporidien, bei denen je 2 Sporoblasten, von einem Pansporoblasten gebildet werden, hierbei von diesem Pansporoblasten (der dem ganzen Körper der disparen Myxosporidien vergleichbar ist) eine kernhaltige, die beiden Sporoblasten völlig umschließende Hülle übrig bleibt. Näheres über diese sehr eigenartigen Entwicklungsvorgänge

1) Nachdem obiges bereits geschrieben war, ist eine Arbeit von KLITZKE (1913) erschienen, in der dieser über Parasiten von *Nebela collaris* berichtet, die beim Ausschlüpfen aus dem Rhizopoden so lebhaft an die für *Arcella* angegebenen amöbenförmigen Jugendformen erinnern, daß KLITZKE anfangs glaubte, eine der für *Arcella* angegebenen ähnliche Vermehrung von *Nebela* vor sich zu haben. Nachdem nun aber die fraglichen Formen sich als Parasiten der *Nebela* erwiesen haben, darf man hierin vielleicht umgekehrt eine Bestätigung des Verdachtes erblicken, daß auch die von ELPATIEWSKY (1907) und SAWRCZEWSKI (1908) für *Arcella* angegebenen multiplen Vermehrungsweisen auf einer Verwechslung mit Parasiten beruhen.

wird weiter unten folgen, da in sie auch die Frage nach etwaigen Befruchtungsvorgängen hineinspielt und es deshalb zweckmäßig erscheint, die noch keineswegs genügend erklärte Fortpflanzung der Cnidosporidien für sich im Zusammenhang zu besprechen.



e) Flagellaten. Die wenigen, auf S. 356 bereits erwähnten Fälle von Knospung bei Flagellaten sind erst sehr wenig bekannt. Hier kann deshalb der Hinweis auf Fig. 352 genügen.

Fig. 352. **Palatinella cyrtophora** mit Knospe. Vergr. 600 : 1. Nach LAUTERBORN (1906) aus PASCHER (1913).

3. Vielteilung (multiple Teilung, Conitomie).

Als Vielteilung oder multiple Teilung bezeichnen wir die Fortpflanzung der Protozoen, wenn die Teilung des Plasmakörpers erst erfolgt, nachdem der Kern des Mutterindividuums in mehr als zwei (meist in viele) Tochterkerne zerfallen ist, und wenn sie ferner derart erfolgt, daß sie zur gleichzeitigen Bildung einer der Kernzahl entsprechenden Vielzahl von einkernigen und gleichartigen Sprößlingen führt.

Die bei der Vielteilung gebildeten Sprößlinge werden mitunter als Sporen bezeichnet (z. B. von LANG 1901), indessen ist diese Benennung ohne einen erläuternden Zusatz mißverständlich und daher unzweckmäßig, weil sonst vielfach dieselbe Bezeichnung für beschaltete Fortpflanzungskörper (ohne Rücksicht auf deren Entstehung) gebraucht wird.

Form und Organisation der Sprößlinge kann sehr verschieden sein. Sehr häufig besitzen dieselben 1 oder 2 Geißeln, nicht nur bei Flagellaten, sondern auch bei Sarcodinen und Sporozoen (vgl. z. B. die auf S. 72 besprochene Vielteilung von Paramoeba, sowie auch Fig. 359, 4—5 und in dem Kapitel über Befruchtung die Abschnitte Merogamie und Oogamie); man spricht dann von Flagellosporen oder Geißelschwärmern. In anderen Fällen finden wir amöboid bewegliche Sprößlinge (z. B. bei den Amöben, vgl. S. 69—71), bei der in dem Kapitel über Befruchtung unter Merogamie besprochenen Gamogonie von Centropyxis und bei der agamogenen Vielteilung von Trichosphaerium und den Foraminiferen, vgl. Fig. 359, 13—14 und 387, III), die entsprechend als Pseudopodiosporen oder Amöbosporen bezeichnet worden sind. In gleicher Weise hat man auch bewimperte Jugendformen Ciliosporen genannt, indessen ist kein Fall bekannt, wo Ciliosporen durch echte Vielteilung entstehen; dieselben entstehen vielmehr entweder durch Knospung (bei den Suctorien, vgl. S. 349 ff.) oder durch rasch aufeinander folgende Zweiteilungen (bei Ichthyophthirius) bzw. Zerfallteilungen (bei vielkernigen Opalinen, Fig. 372).

Die der Vielteilung des Protozoenkörpers vorausgehende Kernteilung kann ebenfalls multipel erfolgen (z. B. bei den Radiolarien, vgl. S. 87, und anderen Sarcodinen). Sehr viel häufiger aber erfolgt sie durch mehrfach wiederholte Zweiteilung des bzw. der Kerne (z. B. in den Cysten von Entamoeba, vgl. S. 71, bei der Schizogonie

und Sporogonie der Malariaparasiten, vgl. S. 131 bzw. 139, ebenso bei der Schizogonie und Sporogonie der Coccidien und bei der Gamogonie und Sporogonie der Gregarinen). Diese Vermehrung der Kerne durch wiederholte Zweiteilungen weist darauf hin, daß wir auch die Vielteilung ebenso wie die Knospung von der einfachen Zweiteilung ableiten müssen. Erleichtert wird diese Ableitung dann auch dadurch, daß bei manchen Protozoenarten (namentlich bei Flagellaten) eine Vermehrung durch rasch wiederholte Zweiteilungen vorkommt, bei der die jeweiligen durch Zweiteilung entstehenden Tochtertiere nicht Zeit haben, vor der nächsten Teilung zur Größe des Muttertieres heranzuwachsen, und bei der infolgedessen schließlich zahlreiche verhältnismäßig kleine Abkömmlinge eines Stammindividuums entstehen.

Nach SCHAUDINNS (1904) Angaben, die allerdings vielfach angezweifelt worden sind und eine sichere Bestätigung bisher nicht erfahren haben, würde eine starke Größenabnahme infolge rasch aufeinander folgender Zweiteilungen z. B. bei *Haemoproteus noctuae* stattfinden. Die vegetativen („indifferenten“) Formen dieses Parasiten sollen nämlich ein sechstägiges Wachstum auf den roten Blutkörperchen des Steinkauzes durchmachen, während dessen sie nur ganz vorübergehend unter Ausbildung einer Geißel und Annahme der Trypanosomenform beweglich werden, um das bisher bewohnte Blutkörperchen zu verlassen und ein neues aufzusuchen. Haben sie nach 6 Tagen ihre volle Größe erreicht, so werden sie wiederum trypanosomenförmig und vermehren sich in diesem freibeweglichen Zustande durch schnell aufeinander folgende Längsteilungen, „bis die Teilprodukte die untere Grenze ihrer Größe erreicht haben“. In Rücksicht auf die vielfache Anzweiflung dieser Angaben sei als weiteres Beispiel noch die zweikernige *Opalina intestinalis* angeführt, deren Zweiteilungen im Frühjahr eine starke Beschleunigung erfahren und hierbei zu starker Größenabnahme der Infusorien führen (vgl. auch unten den Abschnitt über Merogamie bei Infusorien).

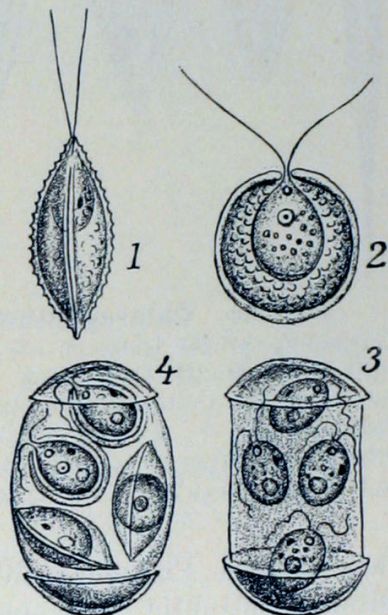


Fig. 353. **Phacotus lenticularis** EHRBG. (Chlamydomonadine mit 2-klappiger Cellulosehülle). 1 Seitenansicht. 2 Flächenansicht. 3 4 durch zweimalige Zweiteilung entstandene Sprößlinge zwischen den auseinandergewichenen Klappen der mütterlichen Hülle, von gemeinsamer Gallerte umschlossen. 4 Quellung der Gallerte und Schalenbildung der Sprößlinge, die demnächst ausschlüpfen werden. Nach STEIN aus OLTMANNS.

Derartig rasch aufeinanderfolgende Zweiteilungen können auch im Innern einer Hülle stattfinden und dann ist die Analogie mit einer multiplen Teilung besonders groß. Als Beispiel können die Chlamydomonaden dienen, bei denen der ersten (und unter Umständen einzigen) innerhalb der mütterlichen Cellulosehülle erfolgten Teilung sich alsbald noch eine zweite und dritte anschließen kann, so daß wir dann in jener Hülle statt zweier 4 oder 8 Sprößlinge finden (vgl. Fig. 19 auf S. 17 und Fig. 353, sowie auch die Besprechung der Paedogamie von *Polytoma* in dem Kapitel über die Befruchtung). Noch zahlreicher werden die

aufeinander folgenden Zweiteilungen und daher auch die entsprechend kleineren Sprößlinge bei *Chlorogonium* (Fig. 354), sowie bei dem sich im encystierten Zustande fortpflanzenden holotrichen Infusor *Ichthyophthirius* (Fig. 355). Es brauchten in diesen Fällen nur die Teilungen des Plasmakörpers mit den Kernteilungen nicht Schritt zu halten, und aus den wiederholten Zweiteilungen wäre eine Vielteilung geworden; vermutlich ist die phylogenetische Entwicklung in der Tat derart gewesen.

Beziehungen der Vielteilung zur Zweiteilung zeigen sich auch darin, daß bei manchen Formen, die sich für gewöhnlich durch Zweiteilung vermehren, gelegentlich auch Vielteilung vorkommt. So z. B. vermehrt sich *Haemocystidium simondi*, ein Parasit der roten Blutkörperchen eines indischen Gecko, der gleich den menschlichen Malaria Parasiten

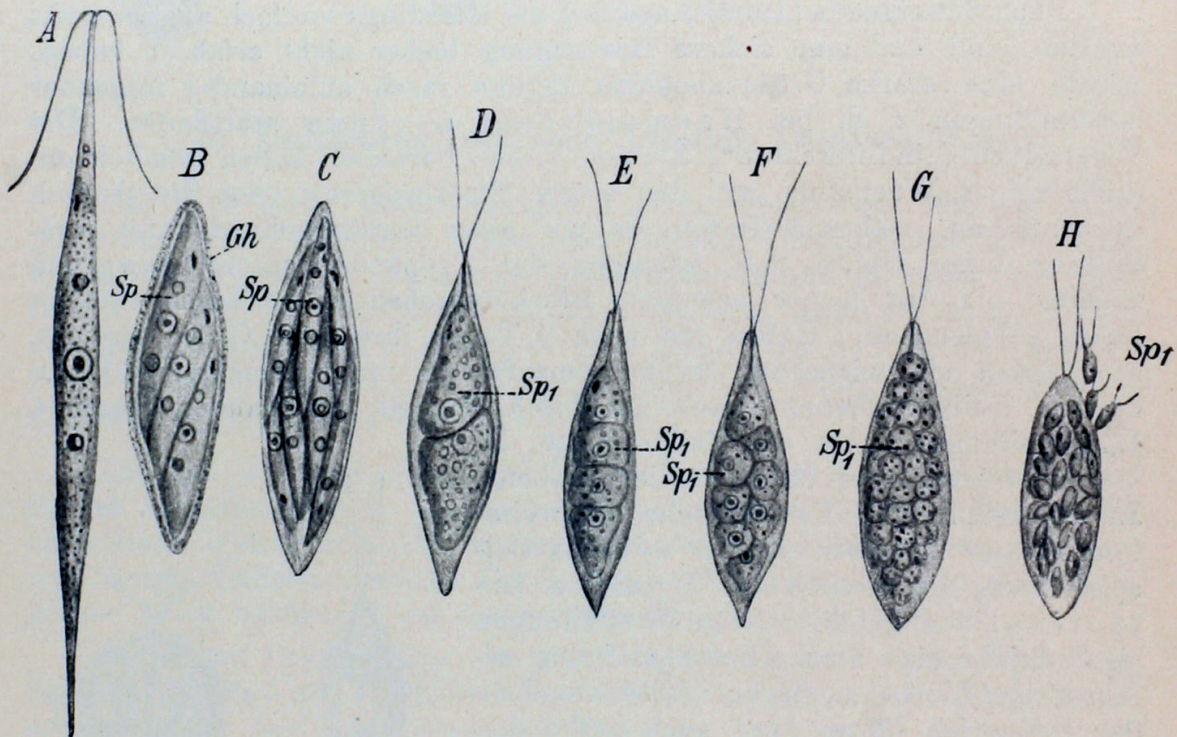


Fig. 354. *Chlorogonium euchlorum* EHRENG. A Vegetativer Flagellat, B—C Entstehung großer Gameten (*Sp*) durch wiederholte Zweiteilung innerhalb einer Gallert-hülle (*Gh*), D—H Entstehung kleiner Gameten (*Sp*₁) durch wiederholte Zweiteilungen innerhalb der Cellulosehülle des Stammindividuums (D—F zeigen als Anfang dieser Teilungen das 2-, 4- und 8-Zellenstadium). Bei der ersten Zweiteilung hat sich der Protoplasmakörper innerhalb der Cellulosehülle um fast 90° gedreht, so daß in Fig. D und E der Anschein von Querteilungen entsteht. Nach STEIN aus DOFLEIN.

hämatogenes Pigment bildet, nach DOBELL (1910) meist durch Zweiteilung; mitunter aber unterbleibt die Plasmateilung nach einer Kernteilung, so daß, wenn sie dann später nach der nächsten Kernteilung erfolgt, gleichzeitig 4 Sprößlinge gebildet werden. Auch bei *Trypanosoma lewisi* ist wie bei allen anderen Trypanosomen die normale Vermehrungsweise eine einfache Zweiteilung; unter gewissen Umständen kann aber bei dieser Art die Plasmateilung hinter der Kernteilung so stark zurückbleiben, daß die entstehenden Sprößlinge während mehrerer aufeinander folgender Teilungen des Kernapparates mit ihren geißelfreien Enden in Zusammenhang bleiben und auf diese Weise rosettenförmige Teilungsformen entstehen, die bei ihrem endlichen Zerfall bis zu 16 Sprößlinge liefern (Fig. 356).

Die Vielteilung kann sowohl im nackten Zustande erfolgen, z. B. bei der Schizogonie der Amöben (S. 69), der Schizogonie und

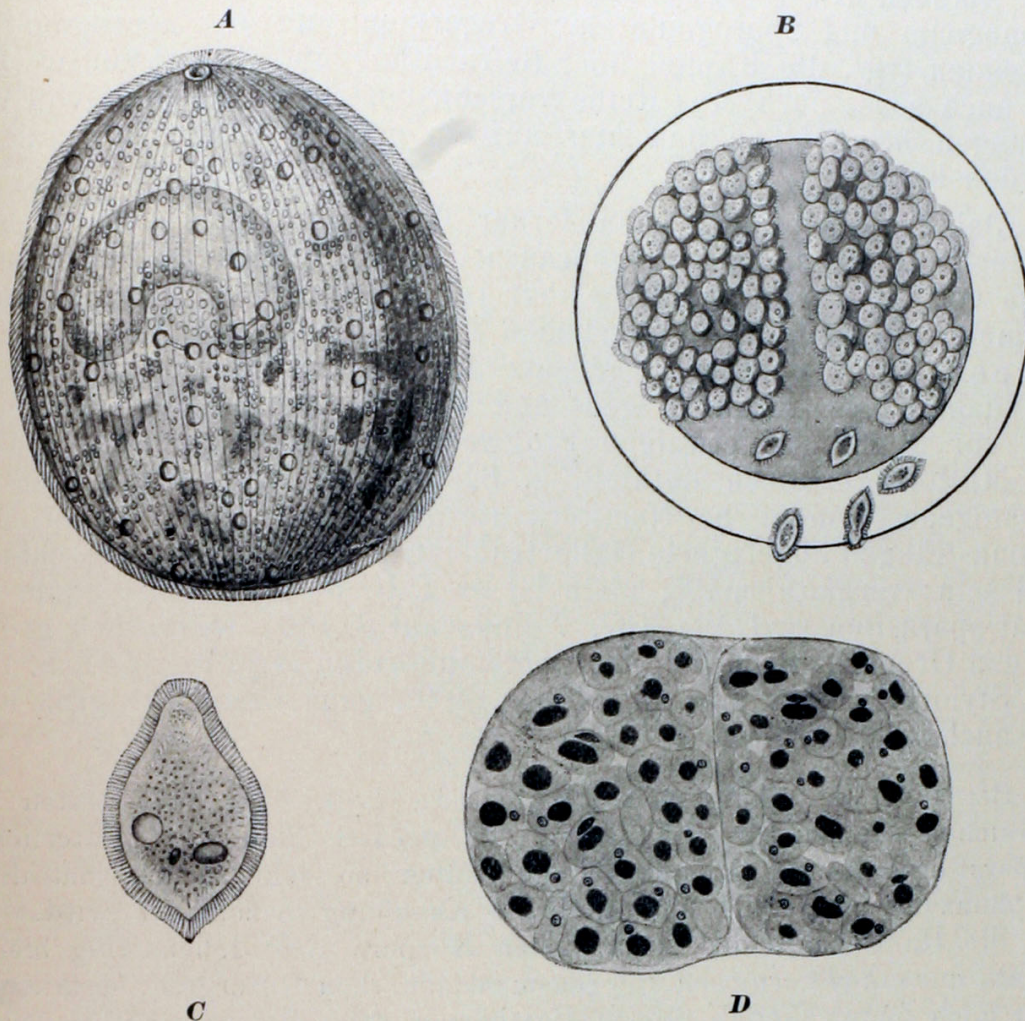


Fig. 355. **Ichthyophthirius multifiliis** FOUQUET. **A** Erwachsenes Infusor mit nierenförmigem Großkern. **B** Reife Vermehrungscyste mit zahlreichen, durch wiederholte Zweiteilungen entstandenen Sprößlingen. **C** Ein einzelner, aus der Cyste ausgeschlüpfter Sprößling mit Großkern, Kleinkern und kontraktile Vakuole bei stärkerer Vergrößerung. **D** Schnitt durch eine Vermehrungscyste in vorgerücktem Stadium; in den einzelnen Sprößlingen neben dem Großkern meist auch der Kleinkern sichtbar, zum Teil in Spindelbildung. Aus DOFLEIN.

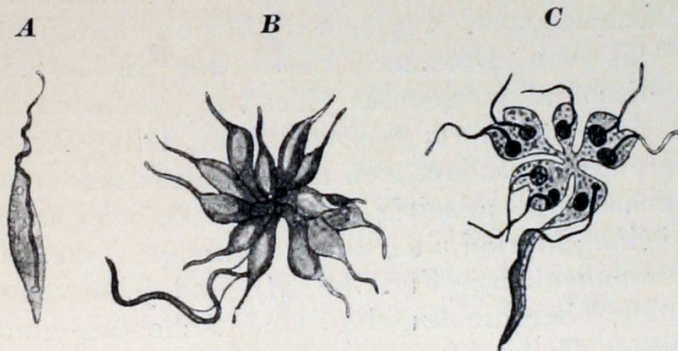


Fig. 356. **Trypanosoma lewisi** KENT, Vielteilung (ohne Restkörperbildung). **A** Einzelner Flagellat nach dem Leben. **B** Teilungsrosette nach dem Leben. **C** Eben- solche nach gefärbtem Präparat; von den 8 Sprößlingen sind 6 noch in so engem paar- weisen Zusammenhang, daß die Entstehung der Rosettenform durch wiederholte, unvoll- ständig gebliebene Zweiteilungen noch deutlich kenntlich ist. Nach SENN und v. WASIE- KLEWSNI (1900) aus DOFLEIN.

Gamogonie der Malariaparasiten (S. 131) und Coccidien (Fig. 417), wie auch im encystierten Zustande, z. B. bei der Gamogonie der Amöben (S. 69—71), bei *Paramoeba eilhardi* (S. 72 f.), bei der Gamogonie und Sporogonie der Gregarinen und der Sporogonie der Coccidien (vgl. die Kapitel über Befruchtung und Generationswechsel, die auch sonst noch eine Reihe verschiedenartiger Beispiele von Vielteilungen bringen, so daß hier auf ein näheres Eingehen verzichtet werden kann).

Bei der Vielteilung kann ferner das Plasma des sich teilenden Muttertieres vollständig aufgebraucht, d. h. restlos auf die Sprößlinge verteilt werden. Häufig aber ist dies nicht der Fall, es bleibt vielmehr ein Teil des mütterlichen Plasmas als sogenannter Restkörper übrig, der im Gegensatz zu den Sprößlingen kernlos ist und daher bald zugrunde geht und zerfällt. Dieser Restkörper enthält vor allem alle etwaigen Stoffwechselprodukte, die das Plasma des Muttertieres noch enthielt, z. B. bei den Malariaparasiten das hämatogene Pigment, bei *Noctiluca* die ganze zwischen den spärlichen Plasmasträngen abgelagerte Gallertsubstanz. Er kann sehr verschieden groß sein; verhältnismäßig klein ist er z. B. bei der Schizogonie der Malariaparasiten (vgl. Fig. 137, 7 links auf S. 130), wesentlich größer bei den Gregarinenfamilien der Dactylophoriden (vgl. Fig. 160, S. 166) und Stylophoriden (vgl. Fig. 408 u. 409), ganz besonders groß endlich auch bei *Noctiluca*.

Bei der Vielteilung von *Noctiluca* (vgl. Fig. 357) treten die zahlreichen kleinen Sprößlinge dem den größten Teil des mütterlichen Körpers enthaltenden Restkörper gegenüber so sehr zurück, daß diese Fortpflanzung meist als eine multiple Knospung bezeichnet wird. Da aber die Hauptmasse des mütterlichen Körpers nicht lebensfähig bleibt, sondern nur einen kernlosen und plasmaarmen, dem Untergang verfallenen, wenn auch ungewöhnlich großen Restkörper darstellt, so liegt in Wirklichkeit keine Knospung, sondern eine Vielteilung vor. Ihr geht ein Schwund aller äußeren Organellen voraus, und das Plasma, das auch sonst bereits eine stärkere Ansammlung um den Kern herum bildet (das sogenannte Zentralplasma), aber von dort aus auch noch den ganzen, durch reichliche Gallerteinlagerungen stark vergrößerten Körper des Flagellaten in weitmaschigen netzigen Strängen durchzieht (vgl. Fig. 22, S. 18, und Fig. 233, S. 231), zieht sich allmählich fast vollständig zu dem Zentralplasma zurück. Zugleich wölbt sich dieses den Kern bergende Zentralplasma, das von DOFLEIN (1900) der Keimscheibe eines telolecithalen, sich discoidal furchenden Eies verglichen wird, nach Art einer jungen Knospe flach-hügelförmig vor. Dann teilt sich der Kern, und auch das Zentralplasma sondert sich in zwei auseinanderrückende Massen, von denen Plasmastränge allseitig eine Strecke weit ausstrahlen; beide Plasmamassen bleiben hierbei auch durch derartige, feine, anastomosierende Ausläufer in Zusammenhang (Fig. 358, A), und jede von ihnen erscheint wieder hügelförmig über die kugelige Oberfläche des ganzen Organismus vorgewölbt. Dieser Teilungsvorgang wiederholt sich nun in derselben Weise noch mehrfach, so daß schließlich eine große Menge von immer kleiner werdenden Plasmaportionen entsteht, die alle hügelförmig über die Oberfläche des Muttertieres vorgewölbt sind und deren jede einen Kern enthält. Alle diese Plasmahügel, deren Zahl schließlich ca. 300 bis 500 erreicht, bilden zusammen eine Scheibe an der Oberfläche des

Muttertieres (vgl. Fig. 358, C); sie schnüren sich dann stärker ab, derart, daß der Kern in sie eingeschlossen wird und sie nur noch durch ein dünnes Stielchen mit der fast kein Plasma mehr enthaltenden Gallertmasse der Noctiluca zusammenhängen (Fig. 358, D). Nachdem sie auch noch eine Geißel entwickelt haben, lösen sie sich von jener Gallertmasse, die in Größe und Form dem ganzen Muttertier nahezu gleichkommt und einen dem Untergang verfallenden Restkörper bildet, vollständig los und schwimmen als Geißelschwärmer (Flagellosporen) davon.

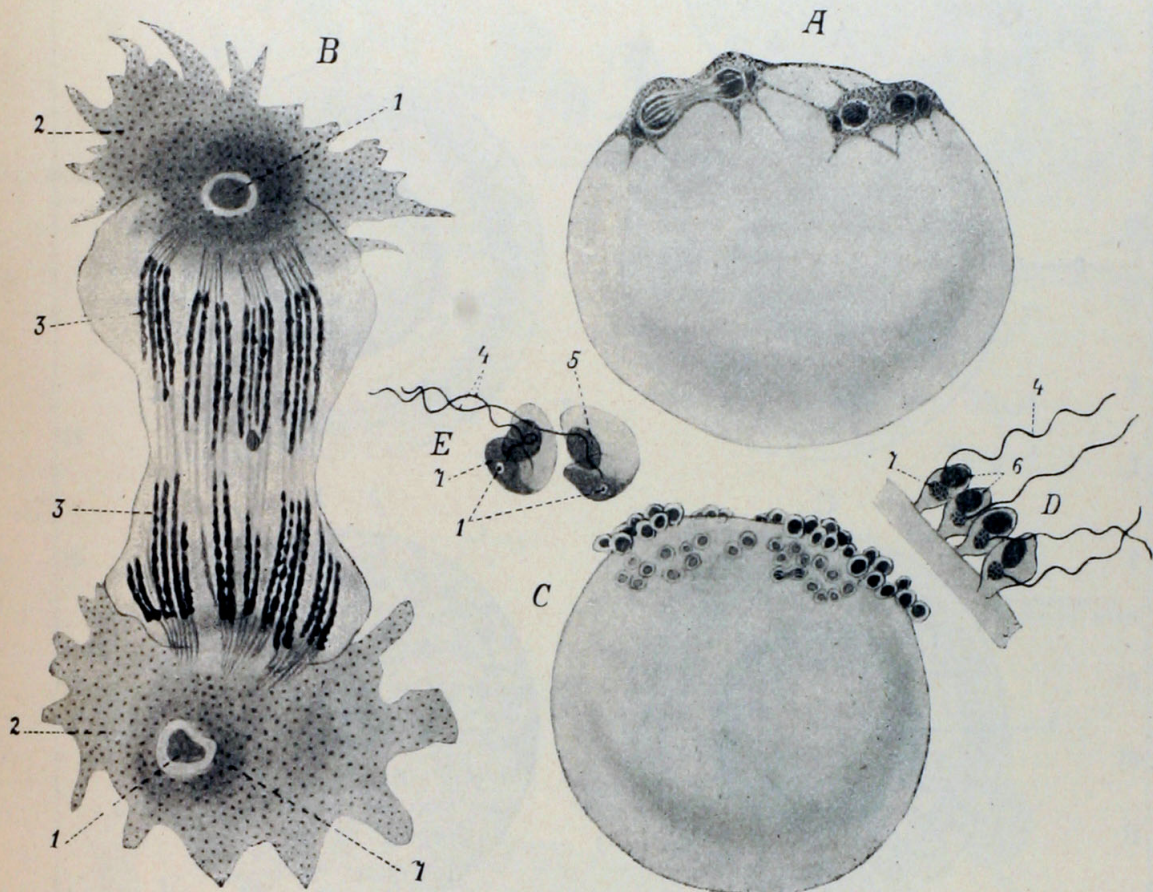


Fig. 357. *Noctiluca miliaris* SUR. Vielteilung mit Hinterlassung eines großen Restkörpers. *A* Frühes Stadium der Fortpflanzung; von den sichtbaren Kernen ist links einer in Teilung begriffen, während die beiden Kerne rechts aus einer eben abgelaufenen Kernteilung hervorgegangen sind. Vergr. 120:1. *B* Kernteilung bei wesentlich stärkerer Vergrößerung. *C* Stadium mit 51 Kernen, die der abgewandten Seite blaß durchscheinend dargestellt. *D* Reife Sprößlinge (Flagellosporen) kurz vor der Ablösung vom Restkörper, stärker vergrößert. *E* 2 Flagellosporen nach ihrem Freiwerden. 1 Sphäre (vgl. S. 152), 2 Protoplasma, 3 Chromosomen, 4 Geißeln, 5 und 6 Kerne, 7 besonders differenziertes Plasma in den Flagellosporen. Nach ISHIKAWA 1894 und 1899.

Bei der Vielteilung der Radiolarien erfolgt, wenn die Kernvermehrung bereits weit vorgeschritten ist (vgl. die Besprechung von Aulacantha auf S. 87 f.), oder auch erst wenn dieselbe völlig abgeschlossen ist (nach BRANDT bei den Polycyttarien, vgl. Fig. 358), die Auflösung der Zentralkapsel. Bei den Polycyttarien ebenso wie bei Thalassicolla geht dieser Auflösung der Zerfall des extrakapsulären Plasmas voraus, wodurch die von ihm umschlossen gewesenen Zentralkapseln ihres hydrostatischen Apparates beraubt werden, zumal auch die Oelkugeln in ihrem Inneren (bei den Polycyttarien je eine große im Zentrum jeder Zentralkapsel, bei Thalassicolla zahlreiche ober-

flächlich gelegene) schon vorher geschwunden waren (Fig. 358 und 389). Die Zentralkapseln sinken daher, frei geworden, einzeln in größere, je nach den Arten verschiedene Meerestiefen herab, in denen dann das Ausschwärmen der je 2 Geißeln besitzenden Sprößlinge (Fig. 108) erfolgt.

Dieser Verlauf der Vielteilung der Radiolarien bzw. wenigstens ihres Abschlusses in größeren Meerestiefen bedingt es, daß unsere Kenntnisse von ihr noch immer verhältnismäßig unvollkommen sind. Die Umwand-

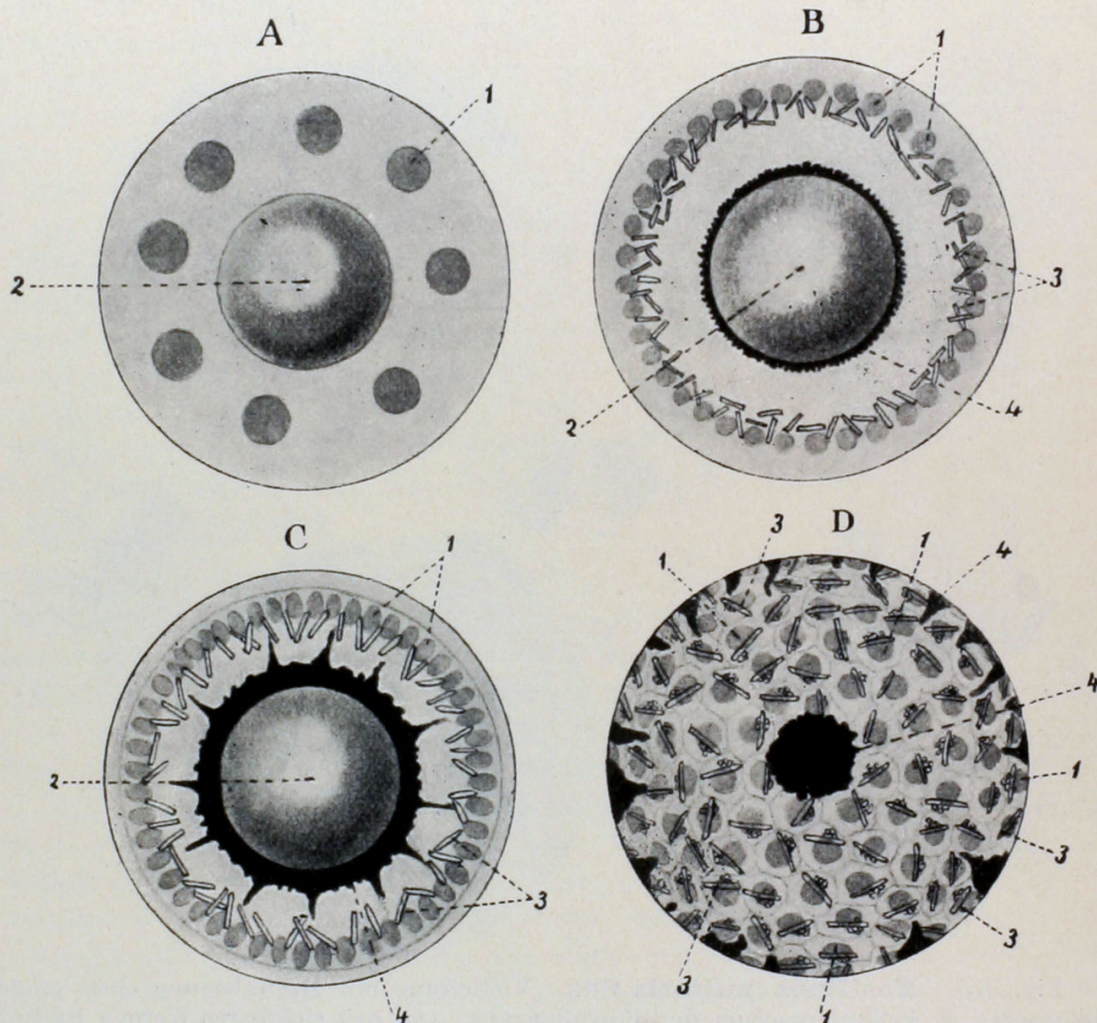


Fig. 358. **Myxosphaera coerulea** HAECKEL (Polycyttarie des Mittelmeeres). Vier Zentralkapseln in verschiedenen aufeinander folgenden Stadien der ungeschlechtlichen Vielteilung (**Isosporenbildung**). 1 Kerne, 2 Oelkugel (schwindet vor Abschluß der Vielteilung), 3 Proteinkristalloide, 4 Pigment. (Die aus dieser Vielteilung hervorgehende Flagellospore siehe in Fig. 108, B.) Nach BRANDT 1885.

lung der Flagellosporen zum jungen Radiolar bzw. bei der geschlechtlichen Fortpflanzung die Kopulation der begeißelten Gameten ist noch bei keinem Radiolar beobachtet worden.

Bei der Vielteilung polythalamer Foraminiferen können insofern eigentümliche, hier noch zu erwähnende Verhältnisse auftreten, als es bei ihr durch Resorption von Kammerwänden zur Bildung eines größeren einheitlichen Brutraumes kommen kann.

Dies ist z. B. bei dem von WINTER (1907) näher untersuchten *Peneroplis pertusus* der Fall. Bei dieser Foraminifere finden sich zweierlei verschiedene Fortpflanzungsweisen, die miteinander abwechseln

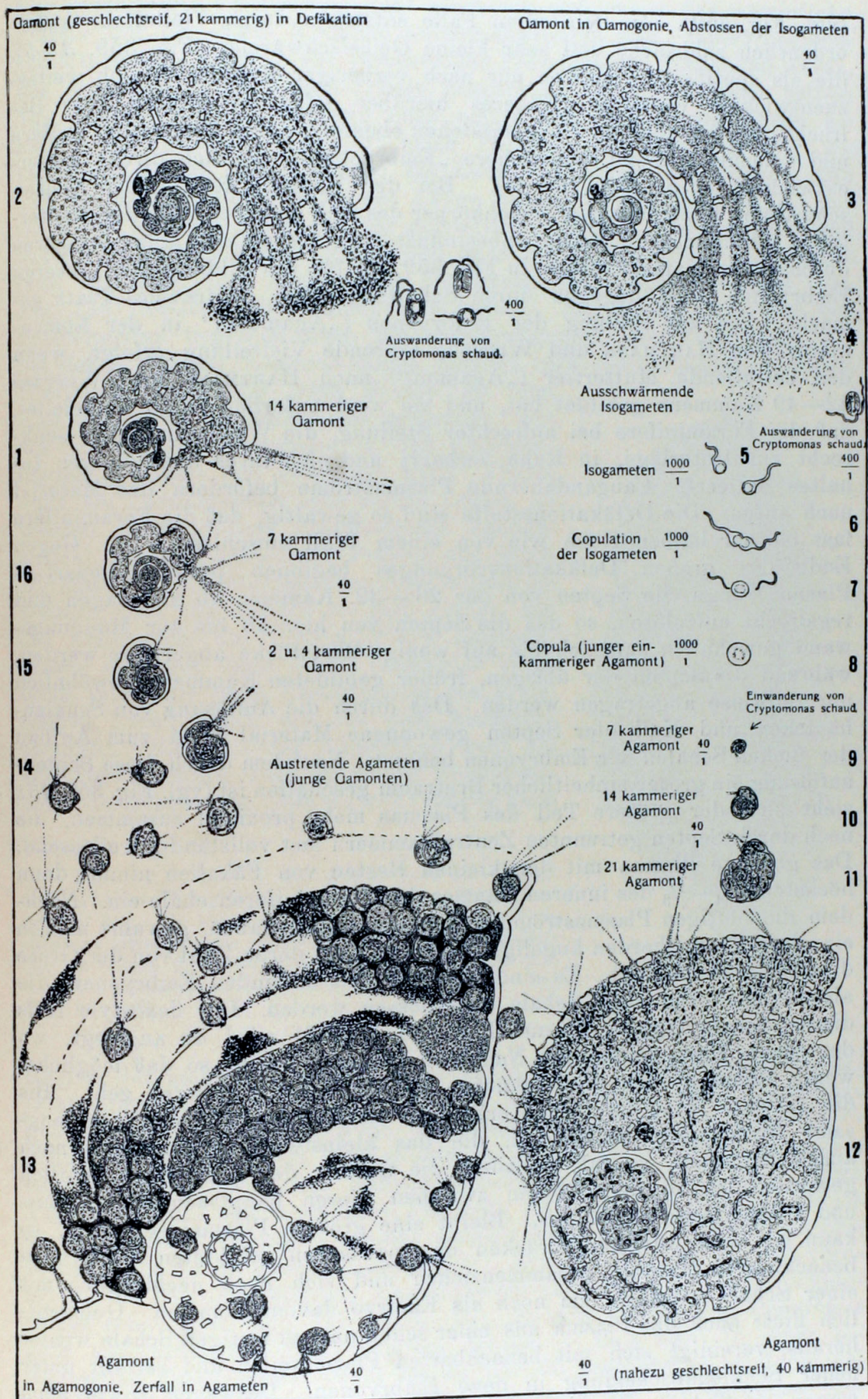


Fig. 359. *Pteroplus pertusus* FORSK. Zeugungskreis. (Benennung der verschiedenen Stadien nach HARTMANN; vgl. S. 401.) Aus WINTER 1907.

(vgl. Fig. 359). In dem einen Falle entstehen durch Vielteilung außerordentlich zahlreiche und sehr kleine Geißelschwärmer (Fig. 359, 3—5), die als spezifische Gameten nur nach vorheriger Kopulation sich weiterentwickeln vermögen (Näheres hierüber folgt im Kapitel über Befruchtung), im anderen Falle entstehen ebenfalls durch Vielteilung größere und dementsprechend zahlreichere „Embryonen“, die sich direkt weiterentwickeln (Fig. 359, 13—14). Bei der Bildung der kleinen Geißelschwärmer bleibt die den Weichkörper des sich multipel teilenden Muttertieres umschließende Schale unbeeinflusst (vgl. die von den Mündungsporen durchsetzten Kammersepten in Fig. 359, 3), für die Bildung der größeren Embryonen wird dagegen durch Schaffung eines Brutraumes Platz gemacht. Die zur Bildung der Embryonen („Agameten“ in der Nomenklatur von HARTMANN und WINTER) führende Vielteilung erfolgt, wenn das betreffende Muttertier („Agamont“ nach HARTMANN und WINTER) 42—49 Kammern gebildet hat, und sie wird äußerlich damit eingeleitet, daß die Foraminifere bei aufrechter Stellung, die Wachstumsebene senkrecht zur Unterlage, in Ruhe verharret und sich ihres überflüssigen Inhaltes entleert. Langandauernde Plasmaströme befördern das Material nach außen. Die Defäkationsstoffe sind so gewaltig, daß die Foraminifere fast bis zur halben Höhe wie von einem Wall umschlossen ist. Gegen Ende des groben Defäkationsvorganges beginnen pseudopodienartige Plasmastränge die Septen von der 26.—32. Kammer ab abzunagen und regelrecht aufzulösen, so daß die Septen von hier ab bis zur Mündungswand gewöhnlich sämtlich bis auf wenige Reststücke abgerissen werden, während die Septen der übrigen, früher gebildeten Kammern gewöhnlich nur teilweise abgetragen werden. Das durch die Auflösung von Schalenhäutchen und Kalk der Septen gewonnene Material wird zum Aufbau der dicken Schalen der Embryonen benutzt. Nachdem durch diese Septenauflösung ein großer einheitlicher Brutraum geschaffen ist (vgl. Fig. 359, 13), zieht sich der größere Teil des Plasmas mehr proximal zusammen, die noch durch Septen getrennten Zentralkammern fast vollständig freilassend. Das gesamte Plasma mit den kleinen Resten von Fäkalien nimmt dann höchstens $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{3}$ des inneren Raumes der Foraminiferenschale ein. Nachdem die heftigen Plasmaströmungen nachgelassen haben, gewahrt man in einzelnen Plasmaherden kugelige Abgrenzungen, deren Zahl von der Größe dieser Herde abhängt. Es sind dies die sich bildenden Embryonen, die alsbald auch von einer Schale umschlossen werden. Der flexostyle Hals dieser Schale (vgl. S. 24 und Fig. 176, S. 186) wird da angelegt, wo der meiste Platz seitens der Nachbarn gelassen wurde, so daß möglichst wenig Raum in dem Plasmahaufen bei der Teilung verloren geht. Bis die äußerste Haut der Schale erkennbar wird, kann man oft noch langsame Strömungen beobachten, die das kleinste Detritusmaterial nach außen befördern, so daß, nachdem die Gestalt der Embryonen deutlich geworden ist, in den Lücken zwischen diesen hauptsächlich Detritus- und Plasmareste verbleiben. Bleibt eine größere Plasmainsel übrig, so kann sie nach Auseinanderrücken der inzwischen gebildeten Embryonen benachbartes Material zusammenziehen und sich noch nachträglich mit einer Schale umgeben, um noch als Embryo davonzukommen. Gelegentlich fließt auch das Plasma aus einer schon nahezu fertigen Schale wieder heraus, vereinigt sich mit benachbarten Plasmateilen und zerfällt unter neuer Schalenabscheidung in neue Embryonen. Deswegen sowie auch wegen möglicherst Raumausnutzung bei der Bildung der Embryonalschalen sind diese in Form und Größe nicht ganz gleich. Die ganze

hier geschilderte Vermehrung geht rasch vor sich, wenn das mütterliche Plasma nur zu einem Klumpen zusammengezogen war, dauert dagegen verhältnismäßig lange, wenn verschiedene Plasmahaufen vorhanden waren. Die Ausbildung der jungen Schale beansprucht ungefähr einen halben Tag. Dann ruht der Embryo noch einige Zeit, wobei die Schale erhärtet, und hierauf beginnt er seine Pseudopodien auszustrecken, die büschelweise aus der Mündung am Ende des Halses hervortreten und sich bis auf das Siebenfache der Länge des Embryos ausdehnen, so daß sie durch mehrere Kammern der mütterlichen Schale hindurchragen und das Innere dieser Schale kreuz und quer wie Spinnwebgewebe durchziehen (vgl. Fig. 359, 13); auch durch die Poren der Embryonalschale (vgl. Fig. 176) treten feine Pseudopodien hervor. Mit diesem Auftreten von Pseudopodien beginnen auch die Ortsbewegungen der Embryonen, die bei deren dichtem Zusammenliegen anfangs ruck- und stoßweise erfolgen. Hierdurch wird die alte Schale an den Kammergrenzen gelockert, oft gesprengt, wie ein Schädel beim Sprengen in den Knochennähten gelockert und gesprengt wird. Findet dann ein Pseudopodium eine solche Lücke, so werden bald größere Plasmamassen nachgeschickt, die die Lücke durch Pressen und durch Auflösen der sie begrenzenden Schalenteile erweitern. Ist die Schale zu fest gefügt, um die Embryonen auf diesem Wege hinauszu lassen, so nagen diese durch Lösen der Wandung mit Hilfe ihrer Pseudopodien ein kreisrundes Loch, durch das sie sich hindurchzwängen. Ein Teil der Embryonen geht bei der Auswanderung auch durch die Mündungswand der Schale, die, falls sie nicht bereits beim

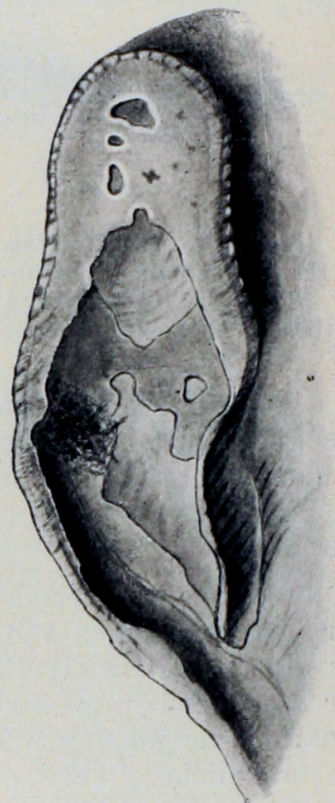


Fig. 360. Blick in das obere Ende der Mündung eines **Peneroplis pertusus**, der Embryonen gebildet hat. Die Mündungswand sowie das in der Tiefe sichtbare letzte Septum in weiter Ausdehnung aufgelöst; nur am oberen Ende der Mündungswand sind noch drei einzelne Mündungsporen erhalten. Vergr. 90:1. Aus WINTER 1907.

Beginn der ganzen Fortpflanzungsvorgänge genügend abgetragen wurde, jetzt aufgelöst wird (Fig. 360). Obwohl die Embryonen eine außerordentliche Lebhaftigkeit zeigen, kann ihre Auswanderung aus der mütterlichen Schale unter Umständen 8 Tage dauern; sobald sie ins Freie gelangen, beginnen sie sofort eifrig Nahrung aufzunehmen und schon nach einem Tage auch eine oder zwei neue Kammern zu bauen (Fig. 359, 14). Trotz der unmittelbar vorausgegangenen starken Defäkation enthalten die Embryonen zahlreiche kleine Exkretkörner. Ebenso enthalten sie von vornherein die charakteristischen Zooxanthellen (kommensale Algen, *Cryptomonas schaudinni*, vgl. Fig. 17, S. 16), die das Plasma von *Peneroplis* ganz außerordentlich dicht erfüllen können — ihre Zahl in einer erwachsenen Foraminifere wurde bis zu 100 000 geschätzt — und die bei der Vielteilung des mütterlichen Plasmakörpers auf die einzelnen Embryonen verteilt werden.

Außer von *Peneroplis* ist die Abtragung eines Teiles der Kammerwände zwecks Schaffung eines einheitlichen Brutraumes vor allem noch von *Orbitolites* bekannt, wo sie bereits von BRADY (1892) beobachtet wurde. Nach RHUMBLER (1911) werden bei *Orbitolites duplex* zur Zeit der Embryonenbildung „in dem peripheren Schalenteil sämtliche radiär und konzentrisch gerichteten Kammerwände resorbiert, so daß bloß die seitlichen Wandflächen (Fig. 361, vgl. auch Fig. 370) wie die Scheiben eines breiten Manschettenknopfes stehen bleiben. Daß Resorptionsvorgänge ähnlicher Art bei der Brutbildung auch sonst noch vorkommen, beweist der in Fig. 362 abgebildete Anschliff der mit Embryonen erfüllten *Discorbina seriatopora*, bei welcher sämtliche Septen weggeräumt sind.“



Fig. 361.

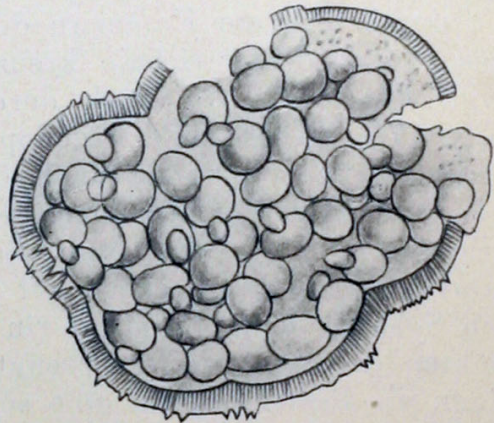


Fig. 362.

Fig. 361. ***Orbitolites duplex***. Kantenansicht der Schale eines Exemplares, das in Embryonenbildung begriffen war. Nach RHUMBLER 1911.

Fig. 362. ***Discorbina seriatopora*** RHUMBL. Embryonen in der zu einer einheitlichen Bruthöhle umgewandelten mütterlichen Schale. Nach RHUMBLER 1911.

Bei anderen Foraminiferen (z. B. *Miliolina*, *Polystomella*) wird die Schaffung eines derartigen Brutraumes und das Aufbrechen der Schale zwecks Entlassung der Embryonen dadurch entbehrlich, daß das Plasma vor der Embryonenbildung aus der Schale herausfließt.

Als Beispiel hierfür wollen wir *Polystomella crispa* auf Grund der Untersuchungen von LISTER (1903) betrachten. Das erste Anzeichen für die bevorstehende Embryonenbildung besteht in starker Vermehrung der Pseudopodien (vgl. Fig. 363, A), die bei an der Seitenwand des Glas-aquariums angehefteten Exemplaren als ansehnlicher milchweißer Hof um die bräunliche Schale in die Augen fallen. Dieser Hof ist zunächst von klarem, hyalinem Plasma gebildet, bald aber beginnen auch die gröberen bräunlichen Körncheneinschlüsse des Plasmas aus der Schale auszutreten, und schließlich ist das ganze Plasma aus der Schale entleert und liegt zwischen dieser und der Unterlage, auf der die Foraminifere mit ihren Pseudopodien angeheftet ist (Fig. 363, B). Hier zerfällt es dann in zahlreiche gleichgroße kugelige Massen, deren jede einen Kern enthält, und die durch ein dichtes Netzwerk zarter Pseudopodien miteinander verbunden sind (Fig. 363, C). Es sind dies die Embryonen, die alsbald auf ihrer Oberfläche eine Kalkschale abscheiden und in dieser nur eine einzige kleine Oeffnung lassen, die Mündung der Schale, durch die die Pseudopodien austreten. Einige Stunden liegen die Embryonen noch dicht beisammen, dann wandern sie gleichzeitig nach allen Seiten auseinander, um $\frac{1}{2}$ Stunde nach Beginn dieser Wanderung bereits über eine verhältnismäßig große Fläche verstreut zu sein, wenn auch die Pseudopodien der verschiedenen Embryonen noch eine Zeitlang miteinander in Zusammenhang bleiben (Fig. 364). Die ganze Entwicklung

von dem ersten Erscheinen des milchigen Hofes um die Schale bis zur Verstreung der Embryonen ist in ca. 12 Stunden beendet, und bei ihr wird das ganze Plasma des Muttertieres verbraucht, dessen Schale völlig leer zurückbleibt.

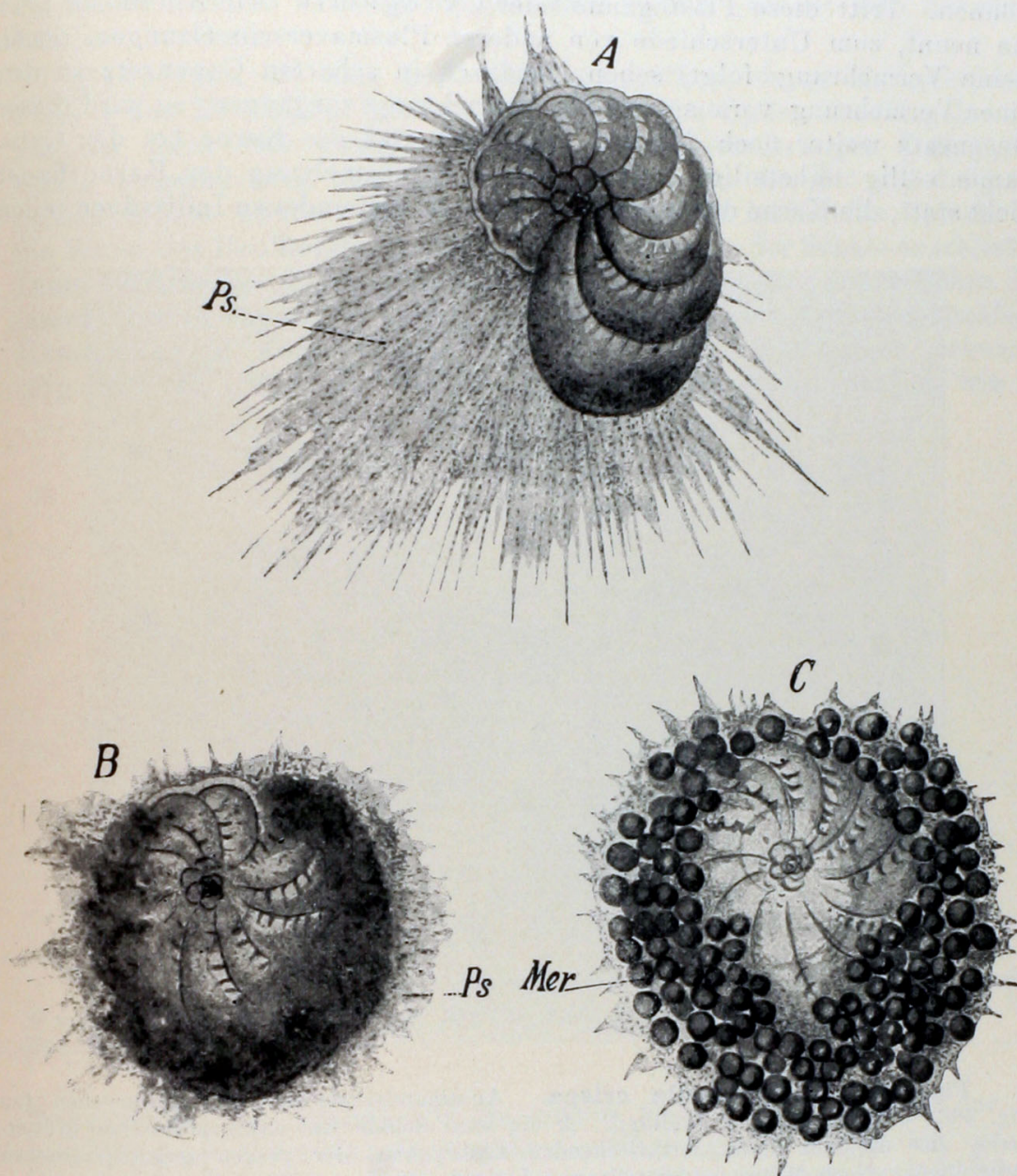


Fig. 363. **Polystomella crispa**. Vielteilung der ungeschlechtlichen (mikrosphärischen) Generation. **A** An die (dem Beschauer zugewandte) Glaswand des Aquariums angeheftete Foraminifere vor Beginn der Vielteilung. **B** Austritt des Plasmas aus der Schale und Ansammlung desselben zwischen der Schale und der Glaswand des Aquariums. **C** Das ausgetretene Plasma in zahlreiche Sprößlinge (Embryonen) geteilt. *Mer* Embryonen, *Ps* Pseudopodien. Nach Mikrophotographien von LISTER (1903) aus DOFLEIN.

Im Anschluß hieran sei schließlich noch darauf hingewiesen, daß bei einzelnen Foraminiferen der Embryonenbildung eine plasmatische Vereinigung mehrerer (meist zweier) Muttertiere vorangehen kann.

Diese eigenartigen Entwicklungsvorgänge sind vor allem von SCHAUDINN (1895) bei *Patellina corrugata* und *Discorbina globularis* näher untersucht worden. Die Verschmelzung der Plasma-

leiber (Plastogamie) zweier Individuen ist keineswegs etwa Vorbedingung der sich anschließenden Vermehrung, da diese in analoger Weise auch bei gewöhnlichen Einzeltieren erfolgen kann, während andererseits auch 3 oder 4, ja selbst 5 Patellinen sich zur Brutbildung vereinigen können. Tritt diese Plastogamie oder Cytogamie (wie RHUMBLER 1911 sie nennt, zum Unterschiede von anderen Plasmaverschmelzungen, denen keine Vermehrung folgt) schon hierdurch in scharfen Gegensatz zu den einer Vermehrung vorausgehenden Befruchtungsvorgängen, so wird dieser Gegensatz weiter noch dadurch verschärft, daß die Kerne bei der Cytogamie völlig unbeteiligt bleiben. Eine Verschmelzung der Kerne findet nicht statt, die Kerne der beiden cytogamisch verbundenen Individuen teilen

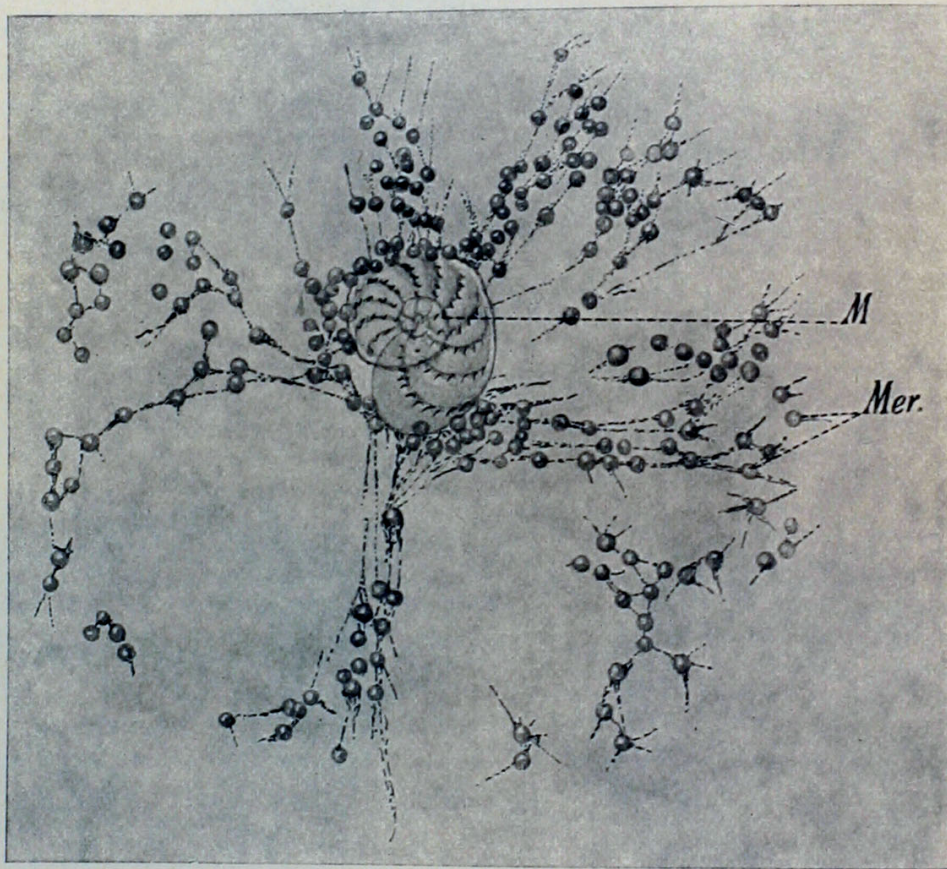


Fig. 364. **Polystomella crispa**. Auseinanderkriechen der Embryonen (an Fig. 363, C anschließendes Stadium). *M* die leere Schale des mikrosphärischen Muttertieres, *Mer.* die von dieser fortziehenden Embryonen (der jungen makrosphärischen Individuen). Nach Mikrophotographie von LISTER (1903) aus DOFLEIN.

sich vielmehr unabhängig voneinander, aber gleichzeitig multipel in je eine größere Anzahl von Tochterkernen. Ein Einfluß des Kernes auf die Cytogamie zeigt sich freilich insofern, als nur solche Tiere miteinander verschmelzen können, bei denen eine Kernvermehrung noch nicht eingeleitet ist, d. h. die nur je einen einzigen Kern besitzen und deren Kerne außerdem auch, auf dem gleichen (ruhenden) Stadium befindlich, noch in der Embryonalkammer liegen. Individuen mit verschiedenen Kernverhältnissen kontrahieren ihre Pseudopodien bei Berührung; Individuen mit in der Embryonalkammer liegendem ruhenden Kern verschmelzen dagegen stets, wenn sie sich so weit genähert haben, daß ihre Pseudopodien sich berühren. Zunächst erfolgt an der Berührungsstelle eine Verschmelzung der beiderseitigen Pseudopodien mit

lebhafter Plasmaströmung nach der Berührungsstelle hin. Nach kurzer Zeit sind dann sämtliche Pseudopodien beider Tiere gegeneinander gerichtet und verschmelzen zu einer breiten Plasmabrücke, die die beiden Weichkörper miteinander verbindet und durch ihre allmähliche Verkürzung die beiden Schalen einander immer mehr nähert, bis sie sich mit ihren Rändern berühren.

Patellina ist eine perforate Foraminifere, deren Kalkschale die Form eines Hohlkegels besitzt (Fig. 365). Die Spitze des Kegels wird von der mehr oder weniger kugeligen bis scheibenförmigen Embryonalschale eingenommen, die den Ausgangspunkt für die Entwicklung der ganzen Schale bildete und an die sich in einer helikoiden Spirale die die Wand des Hohlkegels einnehmenden Windungen der Schale anschließen. Diese Windungen stellen anfangs eine einfache ungekammerte Röhre dar, lassen aber in den später gebildeten Schalteilen eine Art unregelmäßiger Kammerung in Form verschieden geformter Ausbuchtungen erkennen (Fig. 178, S. 188). Bei der Embryonenbildung fließt, ähnlich wie bei

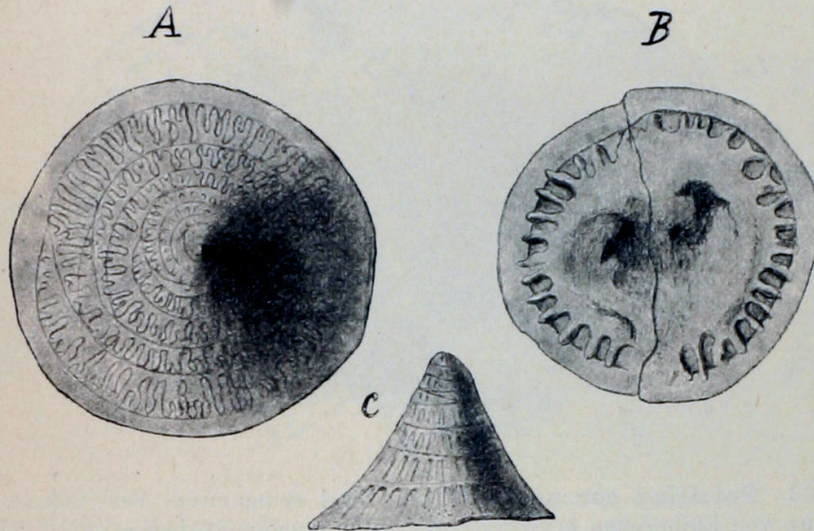


Fig. 365. *Patellina corrugata* WILL. Schale. *A* von oben (von der Spitze), *B* von unten (von der Basis), *C* von der Seite gesehen. Vergr. 90:1—115:1. Nach BRADY 1884.

Polystomella, das Plasma aus der Schale aus, sammelt sich in der von den Windungen der Schale umgebenen Höhlung des Kegels an, die der Nabelhöhle eines Schneckengehäuses vergleichbar ist, und zerfällt hier in 5—30 verschieden große Embryonen.

Bei der Cytogamie legen sich nun zwei solche Schalen derart nebeneinander, daß ihre unteren Ränder an den einander zugekehrten Seiten sich etwas von der Unterlage abheben und hierauf der eine Schalenrand noch etwas stärker, bis zur halben Höhe der anderen Schale emporgehoben wird. Die beiden Nabelhöhlen bilden dann einen gemeinsamen Hohlraum von ellipsoidem Umriß. Dort, wo dieser Hohlraum an seinen Längsseiten zwischen der Unterlage einerseits und den beiden hier angehobenen Schalen andererseits mit der Außenwelt kommuniziert, wird durch Agglomeration von Fremdkörpern (Detritus, Steinchen, Diatomeenpanzern u. dgl.), die gleichzeitig die beiden Schalen stützen und miteinander verkitten, für einen Abschluß gesorgt (vgl. Fig. 366). Hierauf fließt das Plasma beider Tiere aus den Schalen in die nun allseitig abgeschlossene gemein-

same Nabelhöhle aus und zerfällt hier in zahlreiche Teilstücke, die in derselben Weise, als wenn keine Cytogamie vorausgegangen wäre, sich zu beschalteten Embryonen umbilden und dann die Nabelhöhle unter Wegräumung der Detritushaufen verlassen.

Bei *Discorbina* werden die Schalen der cytogamisch verbundenen Tiere häufig durch sekundäre Kalkmasse fest verbunden, während andererseits ihre Mündungen durch Resorption der sie umgebenden Schalenmasse sehr erweitert werden und auch an anderen Berührungsstellen die Wände beider Schalen resorbiert werden können, so daß die Weichkörper durch breite Plasmabrücken in Verbindung treten. Im Gegensatz zu *Patellina* können derart verbundene Discorbinen noch lange umherkriechen und auch Nahrung aufnehmen, ehe sie zur Embryonenbildung schreiten.

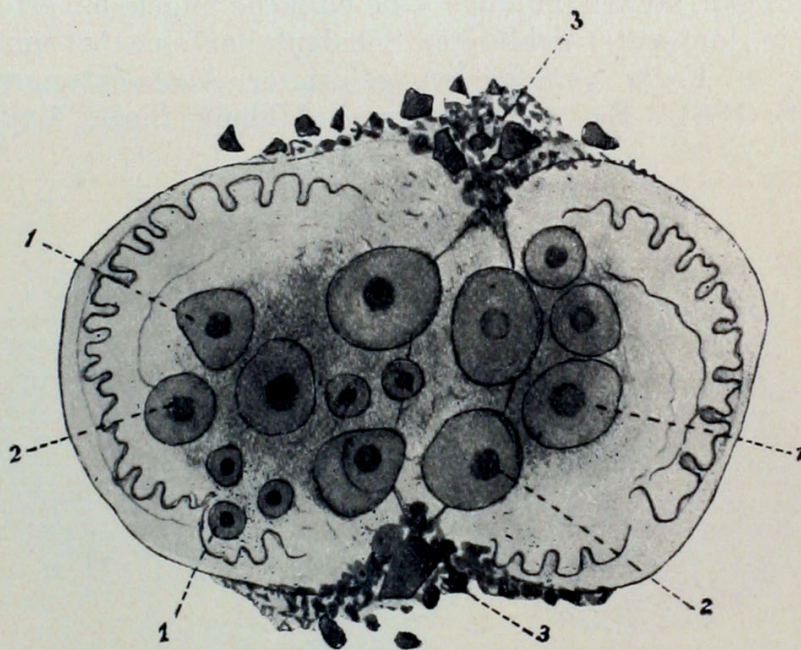


Fig. 366. *Patellina corrugata* WILL. Zwei cytogamisch verbundene Individuen in der Bildung von Embryonen begriffen, von unten gesehen (vgl. Fig. 365). 1 Embryonen, 2 deren Kern, 3 Detritushaufen, der zum seitlichen Abschluß der Bruthöhle dient. Nach SCHAUDINN 1895.

4. Zerfallteilung (Plasmotomie).

Als Plasmotomie bezeichnete DOFLEIN eine Vermehrungsweise bei Protozoen, bei der ein mehrkerniges Individuum ohne direkten Zusammenhang mit Kernteilungen in mehrkernige Teilstücke zerfällt. Durch ihre Unabhängigkeit von den Kernteilungen tritt diese Vermehrung, auf die es sich empfehlen dürfte auch den (meist in weiterem Sinne angewandten) Ausdruck „Zerfallteilung“ zu beschränken, in Gegensatz zu allen bisher besprochenen Vermehrungsweisen. Sie ist zurückzuführen auf das Regenerationsvermögen kernhaltiger Bruchstücke von Protozoen und ist von Sarcodinen (*Trichosphaerium* und gewissen Foraminiferen, vor allem *Calcituba* und *Orbitolites*), Myxosporidien und Opalinen bekannt.

a) Bei *Trichosphaerium* teilen sich, wie bereits auf S. 195 erwähnt, stets alle Kerne des einzelnen mehr- bis vielkernigen Individuums gleichzeitig, aber diese Kernvermehrung steht trotzdem nur mit dem

Wachstum der Tiere in direktem Zusammenhang, nicht mit ihrer Vermehrung. Diese erfolgt außer durch zweierlei verschiedene Arten von Vielteilung (Zerfall in zahlreiche einkernige Sprößlinge) auch durch Plasmotomie, die außerordentlich mannigfaltige Teilungsbilder liefert. Es kann die Durchschnürung des Körpers, dessen zahlreiche Kerne sich stets im Ruhezustande befinden und dessen vegetative Tätigkeiten, wie Nahrungsaufnahme und Verdauung, keinerlei Unterbrechung erfahren, in zwei gleich große oder zwei ungleich große Stücke erfolgen und hierbei „lassen sich alle Uebergänge bis zur Abschnürung einer winzigen Knospe auf finden“. Ebenso kann aber der Organismus sich auch in unregelmäßigster Weise in 3, 4 oder mehr (bis zahlreiche) Teile zerschnüren, deren jedes dann ein selbständiges Individuum darstellt. Vor dem Zerfall in viele Teilstücke wird die Gestalt der Tiere ganz unregelmäßig lappig und buckelig (Fig. 367, *A*). Die einzelnen Fortsätze strecken sich in die Länge und werden durch ringförmige Einschnürungen in eine Reihe von Segmenten zerlegt, die sich dann allmählich voneinander lösen (Fig. 367, *B*).

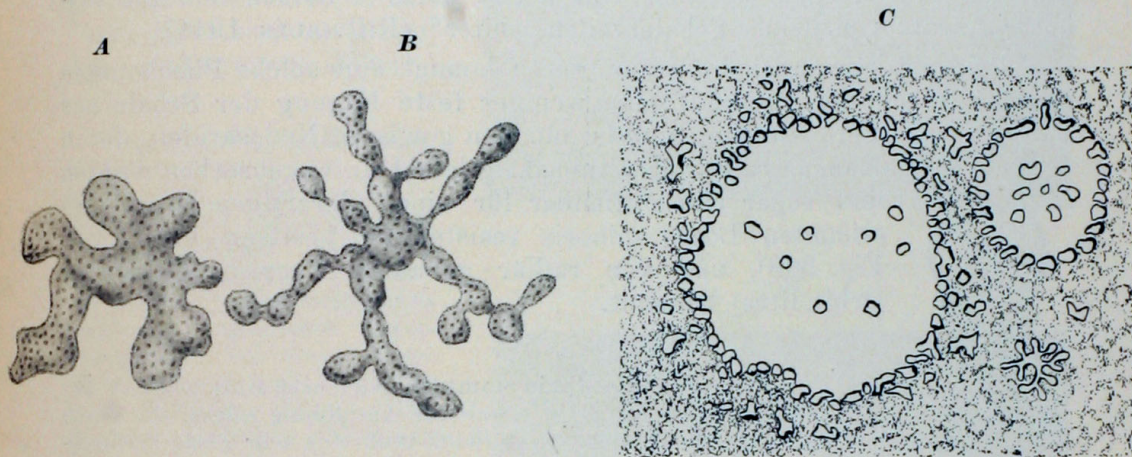


Fig. 367. **Trichosphaerium sieboldi** SCHN. *A—B* Zwei aufeinander folgende Stadien der Plasmotomie. *B* ist erst am 10. Tage nach *A* gezeichnet, und erst nach weiteren 6 Tagen war das Tier in die 26 schon in *B* erkennbaren Teilstücke zerfallen. — *C* 2 Fraßstellen von *Trichosphaerium* in einem Algenfilzwerk, zur Demonstration der Art der Ausbreitung dieser Organismen in ihrem Nahrungsgebiet. Nach SCHAUDINN 1899.

Diese Ablösung erfolgt weder gleichzeitig noch gleichartig; an einzelnen Stellen können sich einzelne Teilstücke ablösen, während an anderen ganze Komplexe abgeschnürt werden, die erst später weiter zerfallen. Der ganze Teilungsprozeß verläuft außerordentlich langsam, wie die Zeitangaben in der Erklärung von Fig. 367 dartun. In einem anderen Falle mit etwas rascherem Ablauf konnte SCHAUDINN an einem 1,5 mm großen Exemplar den Zerfall in 35 Teilstücke innerhalb einer Woche verfolgen; schon am 4. Tage, nachdem die Gestaltsveränderung begonnen hatte, markierten sich die einzelnen Segmente deutlich. — Durch diese Art der Vermehrung finden auch die merkwürdigen kreisförmigen Fraßstellen der Trichosphären in dem Algenfilz an der Glaswand der Aquarien (Fig. 367, *C*) ihre Erklärung. Wenn ein einzelnes Individuum auf eine unversehrte Stelle des Diatomeenrasens gesetzt wird, so verzehrt es zuerst seine Unterlage, so daß ein kleines Loch im Algenfilz entsteht. Infolge der guten Ernährung nimmt das Tier Sternform an, um sich zur Zerfallteilung anzuschicken. Schon hierbei wird die Lücke erweitert. Bei der Trennung

der Teilstücke voneinander finden sie natürlich gute Nahrung nur noch in radiärer Richtung und, indem sie sich wieder teilen, erweitern sie den von Algen gesäuberten Kreis immer mehr. In Aquarien ist übrigens nach SCHAUDINN diese Plasmotomie viel häufiger als im freien Meere und in alten mehrjährigen Kulturen wird sie schließlich zur einzigen Art der Fortpflanzung der Trichosphaerien. „Vielleicht ist die überaus häufige vegetative Teilung ein durch die reiche Ernährung in der Gefangenschaft veranlaßter, nicht normaler Vorgang, den man als eine Art von Hypertrophie bezeichnen kann“ (SCHAUDINN 1899).

b) Foraminiferen. „Durch zufällige äußere Gewaltakte zersplitterte Tiere regenerieren bekanntlich wieder, wenn die entstandenen Teilstücke Kerne besitzen. Ein Fall ganz ähnlicher Art, den man als eine spontane Zersplitterung bezeichnen könnte, ist in der Schalen-zertrennung gegeben, wie sie bis jetzt nur für einzelne Formen konstatiert worden ist. Die betreffenden Formen wachsen zu relativ beträchtlicher Ausdehnung, sie zerfallen dann in einzelne Stücke, von denen jedes einen Teil der Mutterschale mit sich trägt, und jedes Teilstück lebt für sich unter Ansatz von neuen Schalentteilen weiter“ (RHUMBLER 1911).

Bei spiralgewundenen Foraminiferen kommt eine solche Plasmotomie offenbar nicht vor. Sie hat eine weniger feste Fügung der Schale zur Voraussetzung und ist nur von gewissen Nodosariden, deren Kammerreihe verhältnismäßig leicht durchgebrochen werden und sogar einen offenbar für einen derartigen Bruch bestimmten Locus minoris resistentiae besitzen kann (vgl. Fig. 368), und von radiär gebauten Formen (*Calcituba*, *Orbitolites*) bekannt.

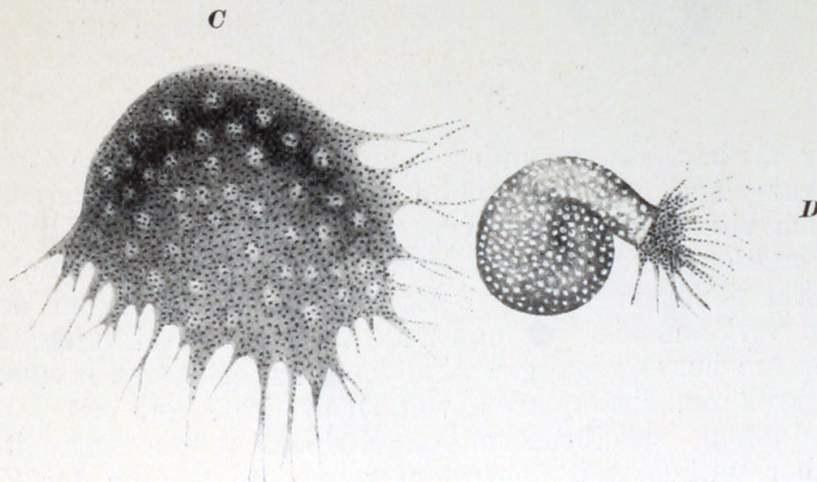
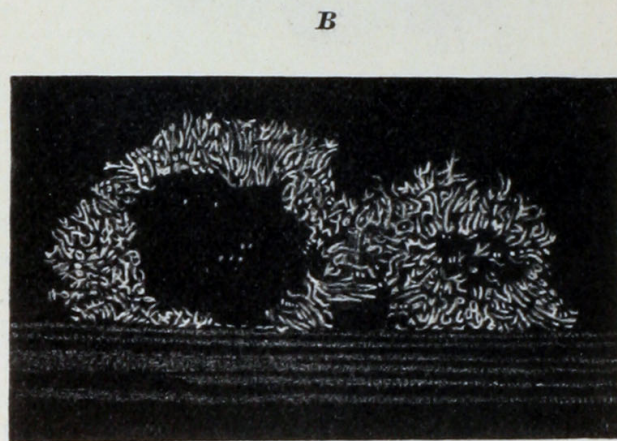
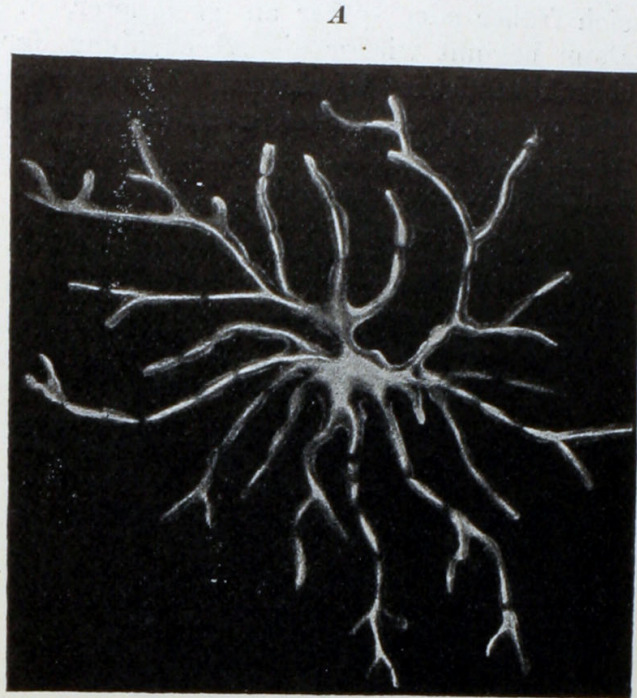


Fig. 368. **Frondicularia compta**, zeigt nach einer gewissen Anzahl von Kammern (hier 3) gewöhnlicher Ausbildung solche, die durch ihre geringe Breitenausdehnung auffallen und eine sehr große Zerbrechlichkeit der Schale bedingen. Dementsprechend findet man von dieser Art verhältnismäßig selten größere Kammerreihen, sondern meist nur kurze, an den Schmalkammern durchgebrochene Kammersätze, deren Hinterende wie bei dem abgebildeten Exemplar noch den Hals der durchgebrochenen Kammer umschließt. Nach RHUMBLER 1911.

Bei *Calcituba* findet sich sogar Plasmotomie in zwei verschiedenen Formen, indem entweder die Schale gleichzeitig mit dem Plasmakörper durchtrennt wird oder der Plasmakörper allein sich teilt und die Teilstücke dann aus der Schale auswandern. Nach SCHAUDINN (1895) entstehen nämlich aus nackten Plasmodien (Protoplasma Klümpchen mit Kernen und Pseudopodien) große, vielkammerige, sternförmige Individuen (Fig. 369) auf folgende Weise: „Das Plasmodium setzt sich auf flächenhaft wachsenden Algen fest und umgibt sich mit Schale; von der so entstandenen ersten Kammer wachsen in radiärer Richtung dichotomisch sich verästelnde, gekammerte Kalkröhren aus. Während die peripheren Röhrenenden weiterwachsen, zerfällt die zentrale Partie, wenn die Algenunterlage verzehrt ist, in Bruchstücke von verschiedener Kammerzahl, die auf den Boden sinken. Es ist auf diese Weise aus dem großen sternförmigen Individuum ein Ring radiär angeordneter kleinerer Individuen entstanden; die letzteren bauen an ihren peripheren Enden immer neue Kammern, während die zentralen älteren Teile abbrechen und zu Boden fallen . . . Das Schicksal der auf den Boden gefallen Bruch-

stücke ist verschieden. Wenn sie Nahrung erlangen, z. B. auf Algen fielen, bauen sie neue Kammern und wachsen in der gewöhnlichen Weise weiter. Wenn sie keine Nahrung haben, so verschließen sie entweder ihre Mündungen mit chitinösen Häutchen und warten in diesem encystierten Zustand auf günstigere Lebensbedingungen, oder sie bilden Plasmodien durch Teilung des Plasmas innerhalb der Schale und Auswanderung der Teilstücke.“ Die zu „Plasmodien“ werdenden Teilstücke entstehen hierbei in wechselnder Zahl (2—20) durch plasmotomen Zerfall des vielkernigen Mutter-

Fig. 369. *Calcituba polymorpha* ROBOZ. *A* Großes sternförmiges, vielkerniges Individuum, auf Algenflechtwerk sitzend, schwach vergrößert. *B* Zwei durch plasmotomen Zerfall von Sternformen entstandene, ringförmig angeordnete Individuengruppen, auf einem Algenfilzwerk sitzend, nach dem Leben in natürlicher Größe photographiert. *C* Nacktes vielkerniges Plasmodium, nach dem Leben. *D* Junge *Calcituba* im Beginn der Schalenbildung (flexostyle Embryonalkammer, wie sie für die Foraminiferen-Ordnung der Flexostylidia charakteristisch ist, vgl. S. 24 und Fig. 176, S. 186), nach dem Leben. Nach SCHAUDINN 1895.



körpers und besitzen dementsprechend auch eine wechselnde Zahl von Kernen (zum Teil nur einen, zum Teil zahlreiche). Sie wandern unter lebhafter Pseudopodienbildung aus der Schale heraus und setzen sich früher oder später an geeigneter, d. h. nahrungsreicher Stelle fest. Dann beginnt wieder die Abscheidung der Schale und das für *Calcituba* charakteristische Wachstum. Vor der Schalenbildung kann das Plasmodium sich aber auch noch einmal oder mehrere Male plasmotomisch teilen oder selbst längere Zeit (über $\frac{1}{4}$ Jahr) als selbständiger amöben-ähnlicher Organismus leben.

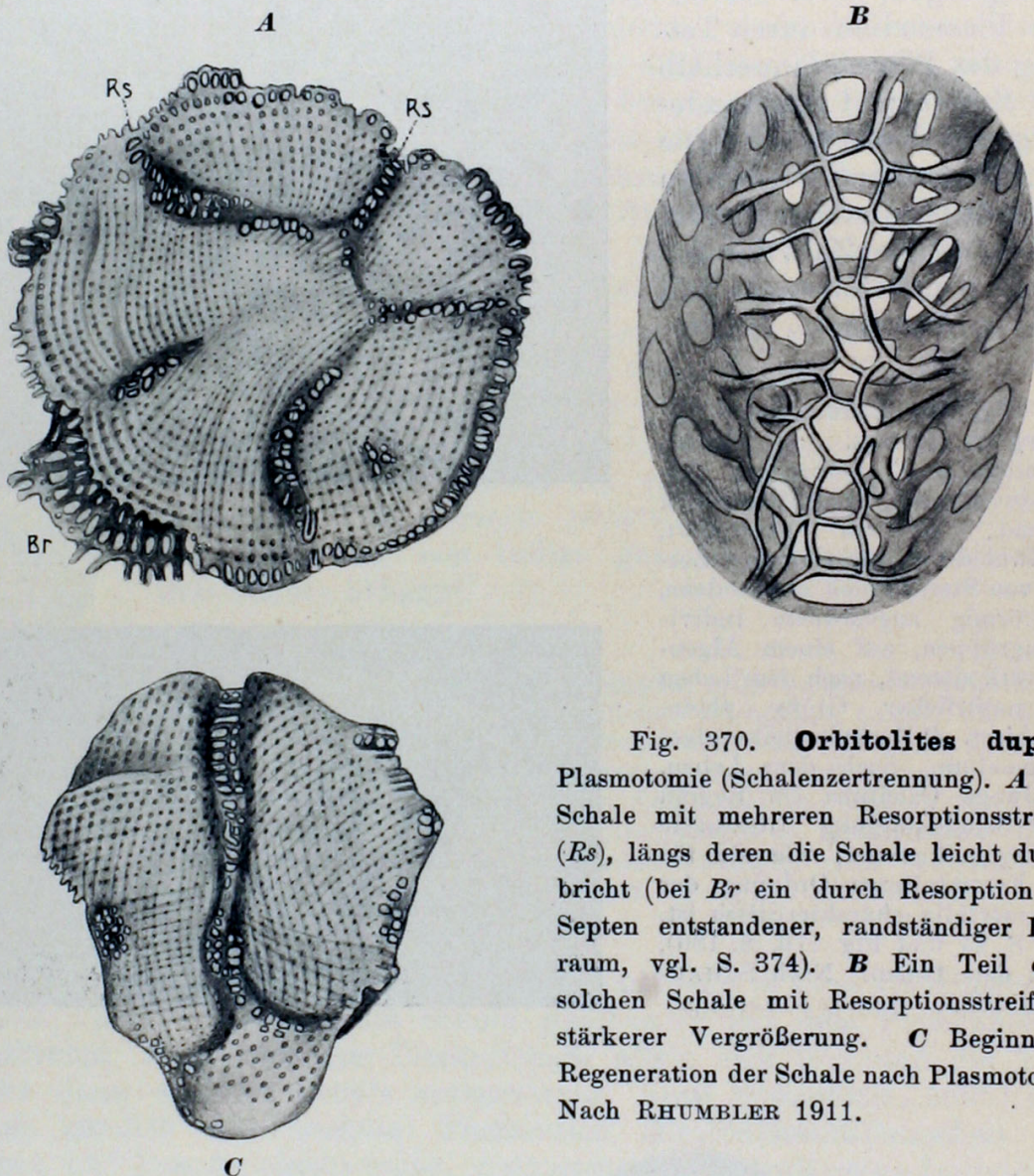


Fig. 370. **Orbitolites duplex.** Plasmotomie (Schalenzertrennung). **A** Eine Schale mit mehreren Resorptionsstreifen (*Rs*), längs deren die Schale leicht durchbricht (bei *Br* ein durch Resorption von Septen entstandener, randständiger Brutraum, vgl. S. 374). **B** Ein Teil einer solchen Schale mit Resorptionsstreif bei stärkerer Vergrößerung. **C** Beginnende Regeneration der Schale nach Plasmotomie. Nach RHUMBLER 1911.

Bei *Orbitolites* findet schon sehr früh eine starke Kernvermehrung statt, so daß schon sehr jugendliche Exemplare außerordentlich viele und kleine Kerne besitzen. Selbst geringste Bruchstücke müssen daher bereits regenerationsfähig sein, und man findet in der Tat häufig regenerierte Exemplare, die in ihrem Zentrum das nicht zu verkennende, oft minimale Bruchstück einer großen Schale, aus dem sie hervorgegangen sind, deutlich erkennen lassen. Offenbar ist bei größeren Exemplaren von *Orbitolites*, der mit der Breitseite seines dünnen, scheibenförmigen Körpers Algen aufzusitzen pflegt, diese aber seitlich weit überragen kann, die Gefahr des Zerschellens

eine verhältnismäßig große. Stärkere Strömung des Meeres, die den Bruch der Schalen fördert, steigert aber zugleich die Möglichkeit einer weiteren Ausstreuung der zu Tieren von gewöhnlicher Größe regenerierenden Bruchstücke. Die Zerbrechlichkeit der Schale wird deshalb von RHUMBLER (1911) damit in Zusammenhang gebracht, daß „sie ein Mittel zur Verbreitung der Art, in geeigneten Zeiten bei besonders stark bewegtem Wasser bot“. Deshalb hat sich Orbitolites der Festigkeitsauslese, die sonst den Schalenaufbau der Foraminiferen beherrscht, „entzogen“. Die auf der Bruchfähigkeitsauslese mit Regenerationsvermögen der Schalenstücke beruhende Vermehrung von Orbitolites muß aber um so mehr als eine Plasmotomie betrachtet werden, als ähnlich wie bei Frondicularia die passive Zerbrechlichkeit der Schale von der Foraminifere noch aktiv unterstützt werden kann. Bei Orbitolites duplex fand nämlich RHUMBLER mehrfach, wenngleich nicht häufig, „den Schalenbruch dadurch erleichtert und geradezu provoziert, daß diese Form in geraden Linien, aber offenbar gesetzmäßig angeordnete Resorptionsstreifen durch die Schalenscheibe hindurchziehen kann. Die Wände der Kammern, die auf diesem Streifen liegen, werden resorbiert und erscheinen dann auf manchen Stadien nur noch wie ganz dünne Schaumwände eines großblasigen Seifenschaumes, oder es bleiben sogar nur die Kanten der Schaumwände stehen, die ganz gewiß bei dem geringsten Insult von außen her durchbrechen müssen (Fig. 370). Daß eine Regeneration derartiger von dem Tier selbst provozierter Bruchstücke zu größeren Schalen stattfindet, lehrt Fig. 370 C, wo sich die Regeneration schon im Gang zeigt, indem die bruchrandständigen Kammerwände durch starke Auflagerungen von Schalensubstanz wieder ausgefestigt sind, während noch von dem Bruch nicht benutzte Strecken von Resorptionsstreifen im Scheibeninneren die frühere Anwesenheit einer größeren Zahl derselben bekunden.“

c) Für Myxosporidien liegen Angaben über Plasmotomie von COHN, DOFLEIN und LÜHE vor. Sie findet sich hier nur bei Be-

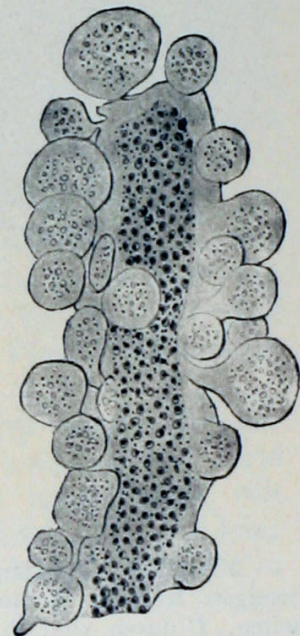


Fig. 371. **Myxidium lieberkühni**. Plasmotomie (nach ihrem äußeren Ablauf hier meist als Knospung bezeichnet). Die einzelnen knospentartigen Sprößlinge verschieden weit abgeschnürt, einige bereits völlig frei geworden. Nach L. COHN 1895.

wohnern von Hohlorganen (Gallenblase, Harnblase). Für Chloromyxum und Sphaeromyxa wird ein Zerfall in zwei nahezu gleiche oder ungleiche Teilstücke angegeben. Bei Myxidium lieberkühni beobachtete dagegen L. COHN (1895) die Abschnürung zahlreicher kleiner, knospentähnlicher Teilstücke (Fig. 371). Ob es sich bei dieser unter dem Deckglase verfolgten sogenannten „Knospung“ von Myxidium um einen normalen Fortpflanzungsvorgang handelt, steht allerdings noch nicht unzweifelhaft fest; bemerkenswert ist jedoch, daß diese eigenartige Form von Plasmotomie nur im Winter beobachtet wurde, zu einer Zeit, wo die bei Myxidium lieberkühni auf die wärmere Jahreszeit beschränkte Cnidosporenbildung vermißt wird (vgl. auch AUERBACH 1910).

d) *Opalina*. Unter den Infusorien findet sich Plasmotomie als normale Vermehrungsweise bei den vielkernigen *Opalina*-arten (z. B. *Opalina ranarum*, Fig. 372), die bei ihrer Teilung in zwei vielkernige Sprößlinge zerfallen, ohne daß dieser Teilung entsprechende Kernteilungen vorausgehen (im Gegensatz zu den zweikernigen Arten, wie z. B. *Opalina intestinalis*, die sich durch typische Zweiteilung ver-

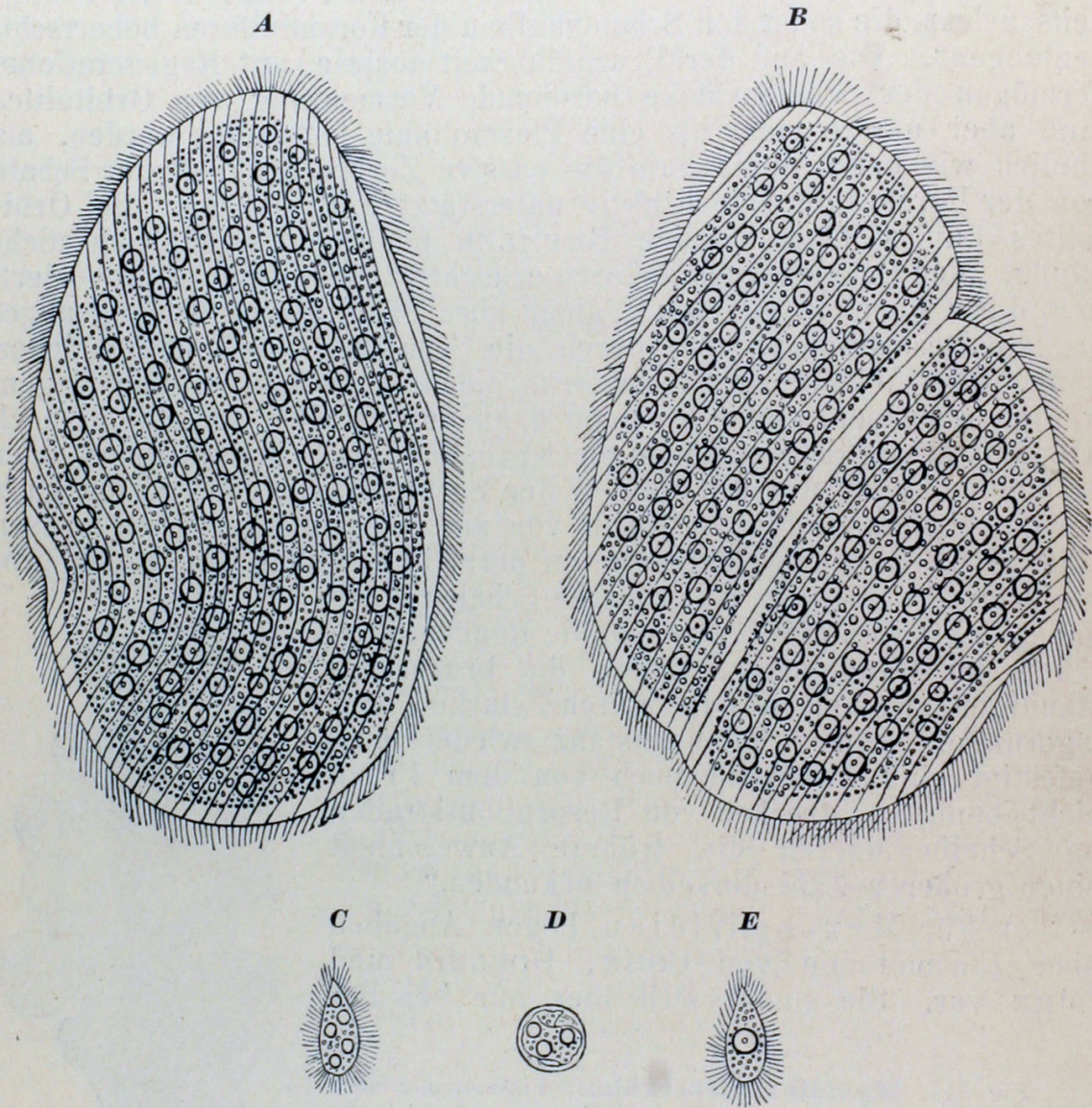


Fig. 372. ***Opalina ranarum***. *A* Gewöhnliche Form mit zahlreichen bläschenförmigen Kernen, *B* dieselbe in Plasmotomie, bei der 2 gleich große Sprößlinge entstehen, *C* durch vielfach fortgesetzte Plasmotomie entstandenes, kleines, wenigkerniges Individuum, *D* ein ebensolches encystiert, *E* kürzlich aus einer Cyste ausgeschlüpft einkerniges Individuum, das nach einer vorherigen Kopulation wieder zu der vielkernigen Form heranwächst. Alle Figuren bei gleicher Vergrößerung nach ZELLER 1877 aus DOFLEIN.

mehren, indem sie unter synchroner Teilung beider Kerne wieder zweikernige Tochterindividuen bilden). Bei rascher Aufeinanderfolge der plasmotomen Teilungen der Opalinen findet eine entsprechende allmähliche Größenabnahme der Sprößlinge statt unter gleichzeitiger starker Abnahme der Kernzahl, da die von der Plasmotomie unabhängigen Kernteilungen mit den Plasmateilungen nicht Schritt halten (Fig. 372, *C*).

Anhang: Koloniebildung.

Im Anschluß an die Besprechung der Fortpflanzung der Protozoen ist schließlich noch der Bildung von Kolonien zu gedenken. Solche kommen dadurch zustande, daß ein Stammindividuum (einer koloniebildenden Flagellaten-, Sarcodinen- bzw. Infusorienart) sich durch Teilung fortpflanzt. Anstatt daß sich dann aber die beiden Tochttertiere völlig voneinander lösen, bleiben sie durch Pseudopodien oder andere plasmatische Fortsätze oder durch Stiele oder durch eine gemeinsame Gallerthülle oder dergl. miteinander verbunden.

Meist wird hierbei der Zusammenhang der durch Teilung erzeugten Sprößlinge dauernd gewahrt. Bei gewissen gehäusebewohnenden Flagellaten (*Polyoece*, Fig. 268, *Dinobryon*) scheint dagegen der eine der beiden bei einer Teilung entstehenden Sprößlinge das mütterliche Gehäuse, in dem der andere zurückbleibt, verlassen zu wollen (vgl. S. 334), freilich nur um sich sofort wieder an diesem Gehäuse und zwar meist an seinem Rande festzusetzen.

So entsteht zunächst eine von bloß 2 Individuen und bei Wiederholung desselben Vorganges an diesen beiden Tochterindividuen eine von den 4 Enkelindividuen gebildete Kolonie; in derselben Weise kann dann die Teilung sich vielfach wiederholen, während stets die Abkömmlinge in Zusammenhang bleiben, so daß unter Umständen Kolonien zustande kommen, die aus sehr zahlreichen, mitunter vielen Hunderten von Individuen bestehen. Dabei bleiben aber (mit alleiniger Ausnahme einiger weiter unten noch besonders zu besprechenden *Volvociden*) alle Einzelindividuen der Kolonie unter sich gleich, und ein jedes ist in gleicher Weise zur Ausübung aller Lebensfunktionen befähigt, wie nur irgendein einzeln lebendes Protozoon.

Koloniebildung findet sich namentlich in weiter Verbreitung bei Flagellaten (vor allem bei *Protomonadinen*, *Chrysomonadinen* und *Volvociden*). Sehr viel seltener ist sie bei *Sarcodinen* (hierher vor allem die ganze *Radiolariengruppe* der *Polycyttaria*, vgl. Fig. 47) und bei Infusorien (hierher vor allem die meisten *Vorticelliden*, vgl. S. 265 und 250).

Bei pelagischen Formen dient die Koloniebildung häufig der Erhöhung des Formwiderstandes und damit des Schwebvermögens. Als Beispiel sei hier auf die Ketten von *Ceratium* hingewiesen, die dadurch zustande kommen, daß das Ende des (dann verhältnismäßig kurz bleibenden) apikalen Hornes des hinteren Sprößlings mit der Geißelspalte des vorderen Sprößlings in Verbindung bleibt. Dadurch, daß sich dieses Aneinanderheftenbleiben bei mehreren aufeinander folgenden Teilungen wiederholt, können verhältnismäßig lange Ketten entstehen, deren Schwebvermögen dank der in der Kette sich häufenden langen Seitenhörner der Einzelindividuen ein besonders günstiges sein muß. Verhältnismäßig am häufigsten scheint diese Kettenbildung im Indischen Ozean zu sein und dies steht im Einklang damit, daß gerade dort die Anforderungen an die Schwebeeinrichtungen anscheinend besonders große sind, wie dies die auffällig starke Ausbildung der Hörner der indischen *Ceratie* dar- tut (vgl. S. 172).

Von besonderem Interesse sind die von HAECKER (1908) beschriebenen Kolonien von *Tuscaroriden* (tripyleen Radiolarien), über die deshalb hier allein noch einige Angaben folgen, während im übrigen auf ge-

legentliche Berücksichtigung der Koloniebildung in früheren Kapiteln verwiesen werden kann. Bei der antarktischen *Tuscaretta globosa chuni* (Fig. 373) fanden sich je 8 Einzelindividuen durch eine gemeinsame kugelige Gitterschale vereinigt, von der mehr oder weniger ausgedehnte Bruchstücke auch bei anderen Arten bereits gefunden sind. Die gemeinsame Gitterschale besteht aus zwei konzentrischen Gitterwerken, deren Maschen von lauter gleichseitigen Dreiecken gebildet werden; beide sind durch zeltförmige Nadelbündel miteinander verbunden, deren Basis in dem inneren, deren Spitze in dem äußeren Gitter liegt. Die Einzelindividuen sind mit ihrem Skelett in fensterförmige Oeffnungen der ge-

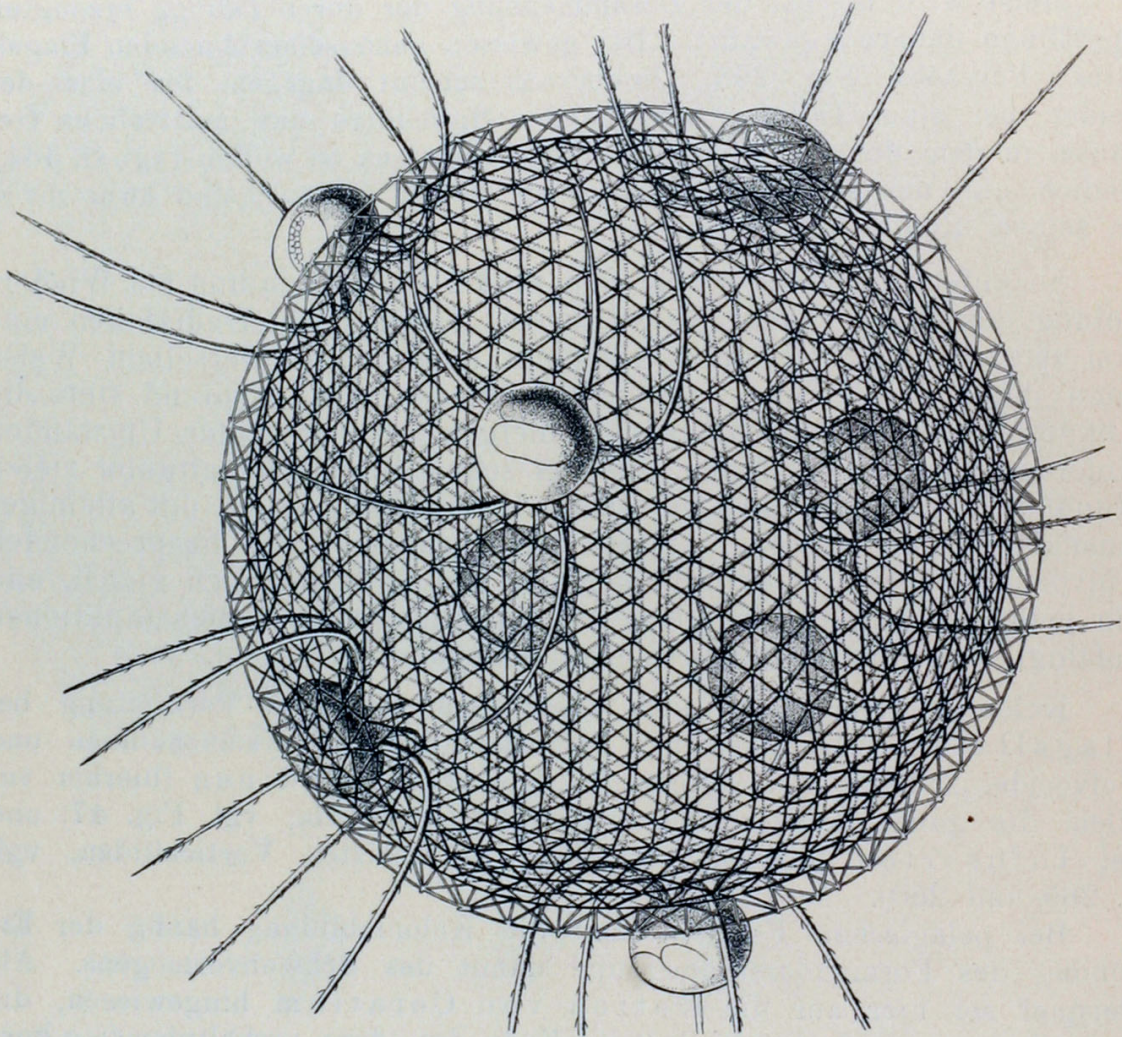


Fig. 373. ***Tuscaretta globosa chuni*** HAECKER. Kolonie mit 8 Individuen. Tiefseeradiolar der Antarktis. Vergr. ca. 12:1. Nach HAECKER 1908.

meinsamen Gitterschale eingelassen, so daß das Pylom und die von dessen Rande ausgehenden Oralstacheln (in Fig. 374 sind deren 2 vorhanden) innerhalb der Gitterschale gelagert sind. Die 4—6 sehr langen Aboralstacheln, die die Oralfläche in mäßigem Abstände umsäumen, krümmen sich in weitem Bogen nach der Aboralseite zu und sind mit zahlreichen Häkchen besetzt, die an der Krümmungsfläche besonders stark und zahlreich sind; diese Häkchen verankern die Einzelindividuen in der gemeinsamen Gitterschale. Die Entstehung dieser Kolonien ist noch zweifelhaft; HAECKER nimmt an, „daß entweder in einem zunächst nackten Keime eine Vermehrung der Zentralkapseln auf 8 oder 16 und dann die Bildung des gesamten Skelettes erfolgt, oder daß die Einzeltiere von

einem bereits beschalteten Muttertier mehr sukzessive ihre Entstehung nehmen. In diesem Falle wäre zu denken, daß innerhalb der Schale des letzteren eine Vermehrung der Zentralkapseln von 2 auf 4 erfolgt, daß dann 2 derselben durch die Schalenöffnung heraustreten und so innerhalb

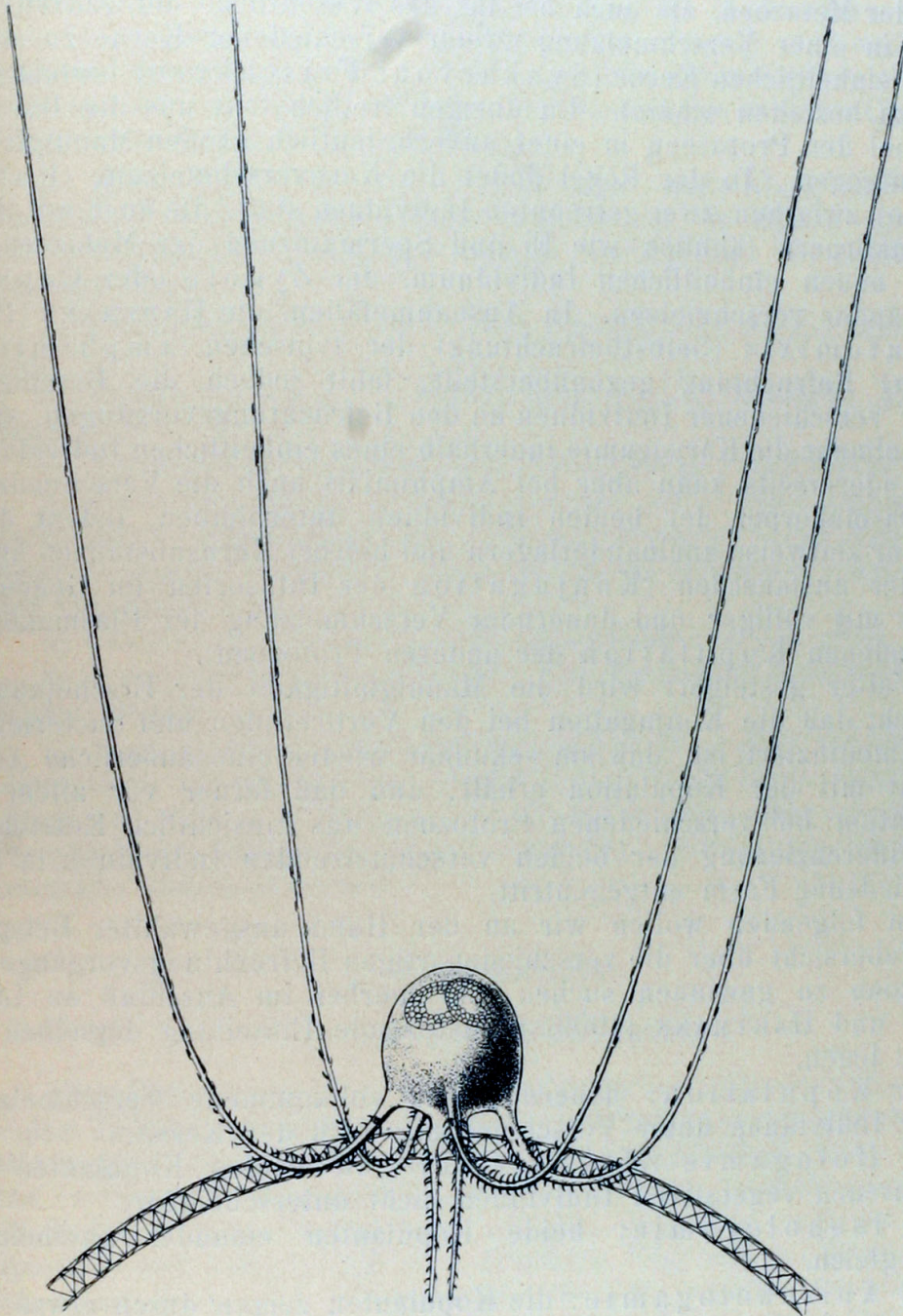


Fig. 374. **Tuscaretta tubulosa** (HAECKEL), Tiefseeradiolar der warmen Meere. Einzeltier mit einem Teile der Gitterkugel der Kolonie. Zu beachten die durch Häkchen vermittelte Verbindung zwischen den 4 Aboralstacheln des Einzeltieres und dem Fachwerk der Gitterkugel. Vom Weichkörper sind nur die beiden Zentralkapseln dargestellt. Vergr. 13:1. Nach HAECKER 1908.

der gemeinschaftlichen Gallerte die Grundlage für ein Tochterindividuum geben, und daß in ähnlicher Weise, unter Teilung der Tochter- und Enkeltiere, die Zahl der Einzelindividuen auf 8 erhöht wird, bis schließlich die gemeinsame Gitterschale zur Abscheidung gelangt.“

II. Befruchtung.

Die Befruchtung, die wohl in der einen oder anderen Form bei allen Protozoen vorkommt, entspricht insofern durchaus der Befruchtung der Metazoen, als auch bei ihr das Wesentliche der ganzen Vorgänge in einer Verschmelzung zweier verschiedener Kerne zu einem neuen einheitlichen Kerne (Synkaryon, Frischkern) besteht oder doch zu bestehen scheint. Im übrigen freilich tritt uns die Befruchtung bei den Protozoen in einer außerordentlich großen Mannigfaltigkeit entgegen. In der Regel findet die Kernverschmelzung (Karyogamie) zwischen zwei getrennten Individuen statt, die auch mit ihren Plasmakörpern (ähnlich wie Ei und Spermatozoon der Metazoen) zu einem neuen einheitlichen Individuum, der Zygote oder Copula, miteinander verschmelzen. In Ausnahmefällen, die HARTMANN (1909) als Automixis (Selbstbefruchtung) der typischen (amphimiktischen) Befruchtung gegenüberstellt, fehlt jedoch die Beteiligung zweier verschiedener Individuen an den Befruchtungsvorgängen, spielt sich vielmehr die Karyogamie innerhalb eines einheitlichen Individuums ab. Andererseits kann aber bei Amphimixis auch die Verschmelzung der Plasmakörper der beiden Individuen unterbleiben, indem diese sich nur zeitweise aneinanderlagern und hierbei Kernsubstanzen untereinander austauschen (Konjugation der Infusorien im Gegensatz zu der mit völliger und dauernder Verschmelzung der Plasmakörper verbundenen Kopulation der anderen Protozoen).

Weiter gesteigert wird die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen dadurch, daß die Konjugation bei den Vorticelliden und Suctorien so stark modifiziert ist, daß sie sekundär wieder eine äußerliche Ähnlichkeit mit der Kopulation erhält, und daß ferner vor allem die Kopulation bei verschiedenen Protozoen uns hinsichtlich Entstehung und Differenzierung der beiden verschmelzenden Individuen in sehr verschiedener Form entgegentritt.

Im folgenden wollen wir an der Hand ausgewählter Beispiele eine Uebersicht über die verschiedenartigen Befruchtungsvorgänge der Protozoen zu gewinnen suchen und hierbei im Anschluß an LÜHE (1902) und HARTMANN (1909) nachstehende Einteilung derselben zugrunde legen.

A. Kopulation: dauernde und vollkommene Verschmelzung zweier Individuen unter Verschmelzung auch der Kerne.

1. Hologamie (Makrogamie): die beiden Kopulanten von erwachsenen vegetativen Individuen nicht unterscheidbar.

a) Isohologamie: beide Kopulanten einander anscheinend völlig gleich.

b) Anisohologamie: die Kopulanten zeigen durch etwas verschiedene Größe eine geringe geschlechtliche Differenzierung.

2. Pädogamie: die beiden Kopulanten gleichen jugendlichen vegetativen Individuen und können auch, anstatt zu kopulieren, heranwachsen und sich durch Teilung vermehren.

3. Merogamie (Mikrogamie): die Kopulanten sind spezifische Geschlechtsindividuen (Gameten), und zwar werden beide Gameten von je einem Mutterindividuum (Gametocyten) durch eine spezifische multiple Vermehrung (Gamogonie) erzeugt. Stammen die miteinander kopulierenden Gameten von demselben Mutterindividuum ab, so sprechen wir auch von Endogamie.

a) Isomerogamie: beide Gameten nicht voneinander unterscheidbar.

b) Anisomerogamie: die Gameten geschlechtlich differenziert.

4. Oogamie: die Kopulanten sehr stark geschlechtlich differenziert; nur einer von ihnen (der männliche Mikrogamet) wird durch Gamogonie von einem Gametocyten erzeugt, der andere (der weibliche Makrogamet) entsteht aus dem Gametocyten ohne Vermehrungsvorgänge durch direkte, mit einer nachweisbaren Chromatinreduktion verbundene Umwandlung.

B. Konjugation (der Infusorien): zeitweilige und unvollkommene Verschmelzung zweier Individuen, in denen gleichzeitig sich Kernteilungen abspielen, zwecks Austausches der allein kopulierenden Kerne.

1. Allelogamie: beide Konjuganten befruchten sich gegenseitig.

a) Isoallelogamie: beide Konjuganten einander gleich erscheinend.

b) Anisoallelogamie: die Konjuganten verschieden groß.

2. Heterogamie: die Konjuganten mehr oder weniger stark geschlechtlich differenziert; nur einer von ihnen wird von dem anderen (meist kleineren) befruchtet, während dieser kleinere zugrunde geht oder resorbiert wird.

a) Isoheterogamie: beide Konjuganten gleich groß.

b) Anisoheterogamie: der eine Konjugant wesentlich kleiner als der andere.

C. Autogamie (Selbstbefruchtung): es findet lediglich eine Karyogamie innerhalb eines einheitlichen Zellkörpers statt. (Diese Autogamie wird von HARTMANN mit der bereits oben als Abart der Merogamie erwähnten Endogamie unter der gemeinsamen Bezeichnung Automixis zusammengefaßt.)

A. Kopulation.

1. Hologamie (Makrogamie).

Eine Befruchtung, bei der die völlig miteinander verschmelzenden beiden Individuen weder von den gewöhnlichen erwachsenen vegetativen Individuen noch voneinander unterscheidbar sind, d. h. also eine Isohologamie oder Isomakrogamie, ist mehr oder weniger gut bekannt von *Copromonas subtilis*, *Noctiluca miliaris*, *Amoeba diploidea* und *Actinophrys sol*. Zunächst liegt nun der Gedanke nahe, daß diese Form der Befruchtung, bei der jegliche Ausbildung besonderer zur Kopulation bestimmter Individuen sowie jegliche Ausbildung geschlechtlicher Verschiedenheiten fehlt, der ganze Vorgang also sich in verhältnismäßig einfachster Form abspielt, die ursprünglichste Form der Befruchtung überhaupt sei. Demgegenüber weisen aber *Amoeba diploidea* und *Actinophrys sol*, wenn auch beide in sehr verschiedener Weise, offenbar durchaus keine primitiven Verhältnisse mehr auf, während bei der morphologisch hoch spezialisierten *Noctiluca* die Befruchtungsvorgänge in ihren Einzelheiten noch zu wenig bekannt sind, um eine einigermaßen sichere Beurteilung zu gestatten.

Bei der mehrfach, zuletzt von DOFLEIN (1900) untersuchten *Noctiluca* verläuft die Kopulation derart, daß 2 Individuen an ihrer Peristomgegend (vgl. S. 282), seltener an einem anderen Teil ihrer Oberfläche miteinander verwachsen und schließlich so vollständig miteinander verschmelzen, daß sie eine einzige Kugel vom doppelten Volumen der Einzelindividuen bilden. Die Kopulation kann sowohl im beweglichen Zustand erfolgen wie auch im ruhenden, bei dem die Bewegungsorganellen rückgebildet sind. Bei den beweglichen Zuständen werden Peristom und peristomale Organe, vor allem auch die beiden Geißeln, während des Beginnes der Kopulation eingeschmolzen. Der Nahrungspartikel entledigt sich dagegen der *Noctiluca*-Körper vor der Kopulation nur unvollständig; während dieser selbst wie auch während der sich anschließenden multiplen Vermehrung findet man noch Reste der zuletzt gefressenen Nahrung, wenn diese auch nicht zahlreich sind. Nachdem auch die Kerne der beiden Kopulanten zum Synkaryon verschmolzen sind, ist in dem nun wieder völlig kugeligen Körper der Zygote „die Hauptmasse des Plasmas zu einer Scheibe vereinigt, welche man Keimscheibe nennen könnte, da sie, allmählich sich abfurchend, die Schwärmerknospen liefert“ (vgl. S. 368 f.). Die Strukturveränderungen des Kernes während der Kopulation konnten noch nicht genügend verfolgt werden; insbesondere ist nichts über etwaige Reduktionsvorgänge bekannt. Neuerdings hält DOFLEIN (1911) es sogar für möglich, daß bei *Noctiluca* gar keine Hologamie stattfindet und daß die Annahme einer solchen auf einer irrtümlichen Deutung der Beobachtungen beruhe.

Bei *Copromonas subtilis* sind die miteinander kopulierenden Individuen nach DOBELL (1908) von den gewöhnlichen vegetativen Individuen nicht unterscheidbar; „jedes Individuum scheint ein potentieller Gamet zu sein“. Ebensowenig lassen die beiden Kopulanten irgendwelche geschlechtlichen Unterschiede erkennen; wohl ist gelegentlich der eine etwas kleiner als der andere, aber diese Unterschiede bleiben stets innerhalb der durch verschiedenes Wachstum und verschiedene Ernährung bedingten, nicht unerheblichen Größenvariation der Flagellaten in den Kulturen. Die Kopulation beginnt damit, daß 2 Individuen sich einander bis zur Berührung nähern, übereinander gleiten und dann bald mit ihren Vorderenden aneinander haften bleiben. Zunächst schwimmen sie dann noch mit Hilfe ihrer Geißeln herum; bald aber wird die eine Geißel kürzer (Fig. 375, 5), um schließlich ganz zu verschwinden, während gleichzeitig die Verschmelzung der beiden Flagellaten an den einander zugewandten Flächen langsam fortschreitet (Fig. 375, 6). Nachdem die eine Geißel völlig resorbiert ist, beginnt an den Kernen der beiden Kopulanten ein Reduktionsprozeß, indem diese Kerne sich zunächst einmal gleichhälftig teilen. Je einer der beiden so entstandenen Tochterkerne wird allmählich aufgelöst (in Fig. 375, 7 sind seine Reste noch nahe dem Hinterende der beiden Kopulanten kenntlich), während von dem anderen noch einmal ein kleineres, ebenfalls der Resorption verfallendes Chromatinkorn sich ablöst (Fig. 375, 7). Während dann die dergestalt reduzierten Kerne sich zunächst aneinander lagern und dann völlig miteinander verschmelzen, kann im übrigen die Copula, die während des ganzen bisherigen Verlaufs der Kopulation mit Hilfe der ihr verbliebenen einen Geißel lebhaft herumschwamm, zweierlei verschiedene Entwicklungswege einschlagen. Entweder nimmt sie direkt die gewöhnliche Flagellatenform an (Fig. 375, 9) und schreitet dann auch sehr bald zur Vermehrung durch Zweiteilung — oder aber die Geißel wird

rückgebildet und die Copula rundet sich ab und encystiert sich. Im Falle dieser Encystierung erfolgt die Verschmelzung der beiden Kerne erst nach der Abscheidung der Cystenhülle (11, 12). Die Bildung ganz gleicher Cysten soll aber auch durch Encystierung einzelner, auf vegetativem Wege durch Längsteilung entstandener Flagellaten erfolgen können. In jedem Falle stellt die Cyste das der Austrocknung Widerstand leistende Dauerstadium dar, aus dem unter günstigen Umständen wieder ein Flagellat ausschlüpft (vgl. S. 162). Die Encystierung selbst ist wie so häufig mit einer Verdichtung des Plasmas infolge von Wasserverlust verbunden. Die aus der Cyste (ob wirklich, wie DOBELL anzunehmen scheint,

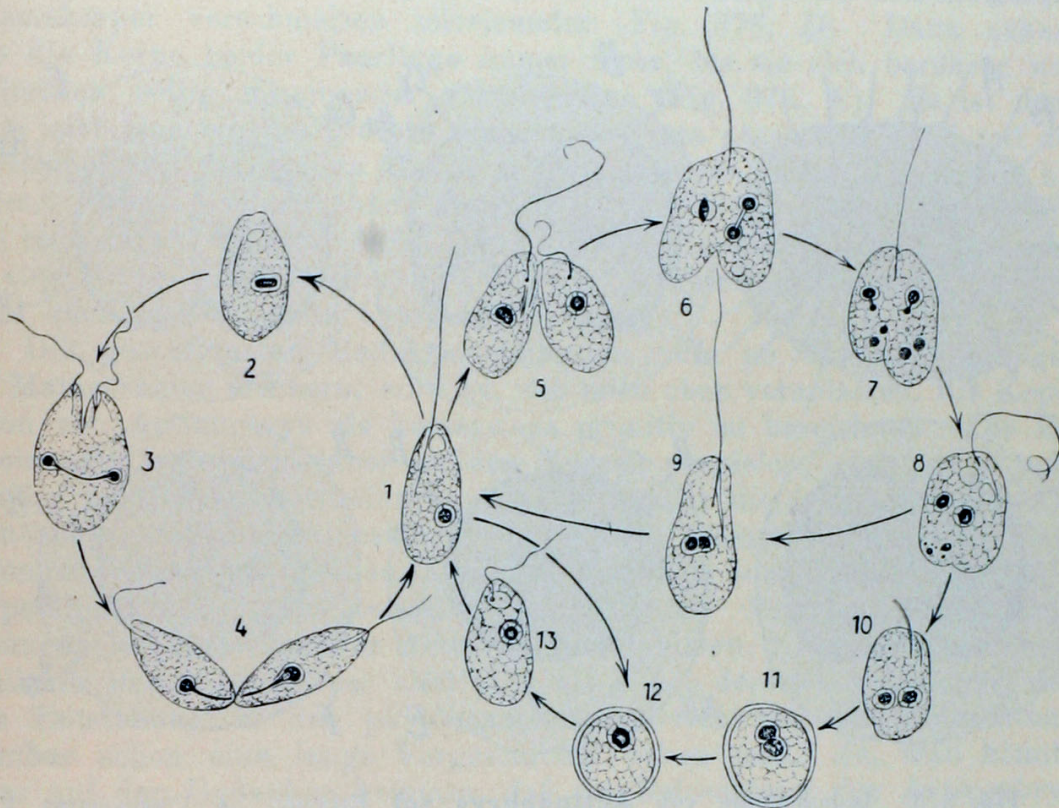


Fig. 375. **Copromonas subtilis** DOBELL (lebt in dem Kote des Frosches). Zeugungskreis. 1 Ausgebildeter Flagellat. 2—4 Zweiteilung. 5—8 Hologamie. 9 Die Copula, in der die Karyogamie noch nicht beendet ist, wird direkt zu einem freischwimmenden Flagellaten. 10—11 Karyogamie und Encystierung der Copula. 12 Dauerzyste, aus der unter günstigen Umständen wieder ein kleiner hyaliner Flagellat ausschlüpft (13), der heranwächst, sich teilt und so den Zeugungskreis von neuem beginnt. Nach DOBELL 1908.

nur in Einzahl, oder erst nach einer vorausgegangenen Teilung, scheint mir noch zweifelhaft) ausschlüpfenden Flagellaten sind kleiner und rundlicher und ihr Plasma ist klarer, weniger körnig als das der ausgebildeten Formen; auch besitzen sie noch kein Reservoir und keinen Cytopharynx. Sie entwickeln sich dann aber allmählich zur ausgebildeten Form, um sich hierauf wieder durch Teilung zu vermehren.

Die Kopulation von *Actinophrys sol*, einem der bekanntesten Vertreter der Heliozoen mit einem einzigen, zentral gelegenen Kern, ist von SCHAUDINN (1896) so genau verfolgt und geschildert, daß sie auch heute noch in der Regel als der am besten beschriebene Fall von Isohologamie betrachtet wird.

In längere Zeit hindurch gezüchteten Kulturen dieser Art findet man Individuen, die mit noch ausgestreckten Pseudopodien paarweise miteinander verschmelzen (Fig. 376, A). Nicht selten findet auch eine entsprechende Verschmelzung einer größeren Anzahl von Individuen statt; da aber auch in diesem Falle die durch die Verschmelzung eingeleitete Kopulation immer nur zwischen je 2 paarweise vereinigten Individuen erfolgt, wollen wir uns weiterhin auf die Betrachtung des einfachen Falles eines einzigen verschmelzenden Paares beschränken.

Die vereinigten Individuen (eventuell also auch eine größere Actinophrys-Gesellschaft) ziehen allmählich ihre Pseudopodien ein, unter Rückbildung der Achsenfäden derselben, und sinken infolge des hiermit

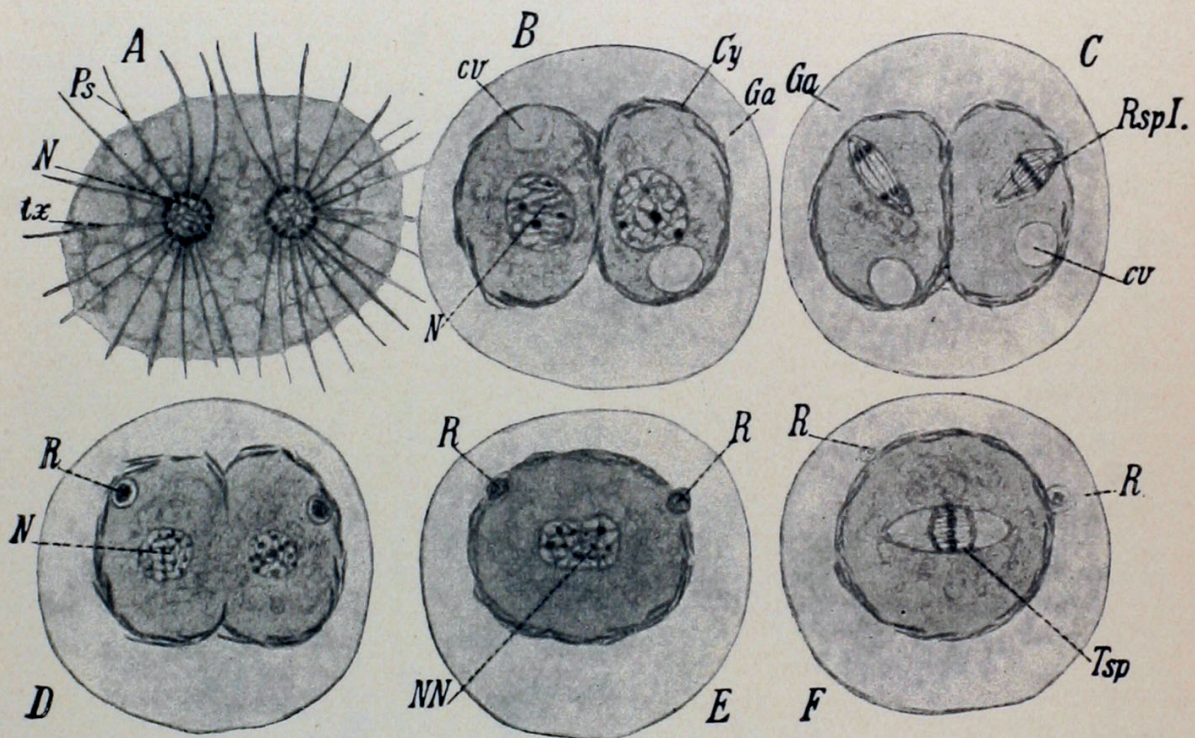


Fig. 376. Isogamie von **Actinophrys sol** EHRBG. A Plasmogame Verschmelzung zweier freischwimmender Individuen. B Encystierung der Kopulanten. C Reduktionsteilung des Kernes. D Reduktionskörper gebildet, die reduzierten Kerne wieder im Zentrum der Kopulanten. E Kernverschmelzung. F Erste Teilungsspindel des Synkaryons als Einleitung zur ersten Teilung der Copula. Die Reduktionskörper haben inzwischen die innere kieselige Cystenhülle durchwandert und sind im Zerfall begriffen. cv kontraktile Vakuole, Cy Kieselhülle, Ga Gallerthülle, N Kern, NN Synkaryon, Ps Pseudopodien, R Reduktionskörper, Rsp I erste Reduktionsspindel des Kernes, Tsp Teilungsspindel des Synkaryon, tx Achsenfaden. Nach SCHAUDINN (1896) aus DOFLEIN.

verbundenen Verlustes ihrer Schwebefähigkeit zu Boden, indem sie sich gleichzeitig mit einer dicken, wasserhellen Gallerthülle umgeben. Innerhalb dieser gemeinsamen Hülle sondert dann noch jedes Einzeltier eine besondere Membran auf der Oberfläche seines Zelleibes ab (Fig. 376, B). Eine wesentlich abweichende Ansicht über die Entstehung dieses Stadiums hat freilich neuerdings DISTASO (1908) geäußert, nach dem es sich bei *Actinophrys* überhaupt nicht um Hologamie handelt (vgl. unten unter Merogamie).

Nach dieser doppelten Encystierung tritt der Kern eines jeden Paarlings in mitotische Teilung und rückt dabei gegen die Oberfläche, wobei sich die Kernspindel mit ihrer Längsachse senkrecht zur Oberfläche einstellt (Fig. 376, C). Die bei dieser Kernteilung entstehenden Tochter-

kerne sind sehr ungleich. Der distale wird als stark färbbarer, strukturloser Chromatinklumpen von wenig Plasma umgeben und bildet mit diesem eine kleine kugelige Zelle, die lebhaft an die Richtungskörperchen der Metazoeneier erinnert (Fig. 376, D, E). Der proximale Tochterkern macht (nach DOFLEIN 1911) zunächst noch eine zweite mitotische Teilung durch, die wiederum zur Abschnürung eines kleinen, einem Richtungskörperchen vergleichbaren Körpers führt. Der nach diesen zwei Reduktionsteilungen zurückbleibende Kern rückt in das Zentrum des betreffenden Kopulanten und bildet sich zum ruhenden Kern um.

Hierauf erst folgt die Karyogamie. Der die beiden Paarlinge trennende Teil der inneren Cystenmembran wird aufgelöst, und die beiden Plasmakörper verschmelzen miteinander (Fig. 376, D). Dann nähern sich die Kerne beider Paarlinge immer mehr, bis sie sich berühren und schließlich völlig miteinander verschmelzen (Fig. 376, E). Es ist demnach jetzt eine einzige größere einkernige Cyste entstanden, und mit der Verschmelzung der beiden Kerne zum Synkaryon ist die Kopulation beendet. Es sei jedoch gleich angeführt, daß die so entstandene Copula sich bald darauf durch einfache Teilung, bei der die Kernteilung wiederum an eine Mitose erinnert (Fig. 376, F), in 2 Tochterindividuen teilt, deren jedes dann eine ruhende Cyste bildet.

Die geschilderten Reduktionsteilungen, die an die Reifeteilungen der Metazoeneier erinnern, sind es, die mich oben veranlaßten, die Kopulation von Actinophrys als keineswegs primitiv zu bezeichnen. Die Erscheinungen, die sich dabei an den Kernen abspielen, gleichen so vollständig typischen Kernteilungen, daß wir auch die folgenden, zur Abschnürung der Reduktionskörper führenden Plasmateilungen als Zellteilungen betrachten müssen, ähnlich wie dies ja auch bei der Richtungskörperchenbildung der Metazoen der Fall ist. Die bei diesen Zellteilungen der kopulierenden Actinophrys gebildeten, richtungskörperchenähnlichen Reduktionskörper sind aber als Zellen derartig rudimentär, daß ihre Entstehung in der phylogenetischen Geschichte der Befruchtung offenbar schon eine lange Vorgeschichte haben muß. Ja, man könnte sogar auf den Gedanken kommen, daß die Befruchtung von Actinophrys erst sekundär einer Hologamie ähnlich geworden ist, indem ursprünglich jeder der beiden Paarlinge, wie wir dies nachstehend bei der Merogonie kennen lernen werden, sich in eine größere Anzahl von Gameten teilte, die aber im Laufe der Phylogenese alle bis auf einen einzigen atrophierten.

Amoeba diploidea bietet durch ihre Kernverhältnisse besonderes Interesse. Sie ist während des ganzen vegetativen Lebens zweikernig. Ihre Vermehrung erfolgt durch wiederholte Zweiteilung, und hierbei teilen sich die beiden Kerne des Muttertieres stets gleichzeitig derart, daß jeder Sprößling von jedem der beiden Kerne seine Teilhälfte mitbekommt (Fig. 377). Die Befruchtungsvorgänge beginnen damit, daß 2 Amöben sich aneinander legen, abkugeln und sich mit einer gemeinsamen Cysten-hülle umgeben (Fig. 378, A). Während der Encystierung verringert sich das Volumen ganz beträchtlich, vermutlich durch Flüssigkeitsabgabe. Ehe nun aber die Protoplasmen der beiden Amöben zur Vereinigung kommen, verschmelzen die beiden Kerne in jedem Individuum zu einem Synkaryon, so daß nun in jeder Amöbe nur noch ein Kern vorhanden ist (Fig. 378, B). Während diese Kernverschmelzung vor sich geht, beginnt auch das Ektoplasma zwischen den beiden Amöben zu schwinden, so daß gewöhnlich nach völliger Ausbildung des Synkaryon auch die

Plasmen der beiden Zellen schon vereinigt sind, worauf alsbald an beiden Synkaryen Reduktionsvorgänge sich abspielen, auf die hier aber nicht näher eingegangen werden kann. Die beiden reduzierten von den verschiedenen Individuen stammenden Kerne legen sich eng aneinander,

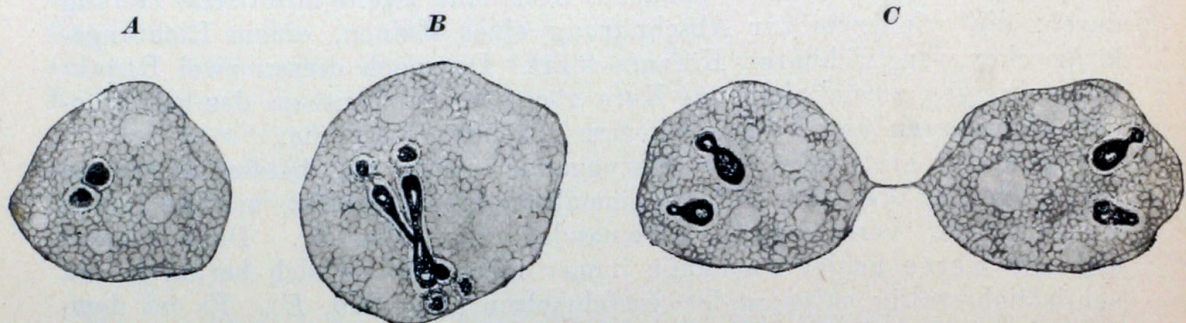


Fig. 377. Vegetative Zweiteilung von *Amoeba diploidea* H. u. N. *A* Gewöhnliches zweikerniges Exemplar. *B* frühes, *C* spätes Stadium der Teilung. Vergr. 1250:1. Nach HARTMANN und NÄGLER 1908 aus DOFLEIN.

ohne jedoch zu verschmelzen (Fig. 378, *C*). Auch in ganz alten Cysten findet man fast ausnahmslos 2 Kerne, und nur zweimal konnten HARTMANN und NÄGLER (1908) auch Cysten mit nur einem Kern von etwa doppelter Größe wie sonst und entsprechend großem Karyosom beobachten. Bringt man die Cyste auf frischen Nährboden, dann wird sie auf einer Seite aufgelöst, und es kriecht eine junge zweikernige Amöbe aus, die durch Flüssigkeitsaufnahme sehr rasch aufquillt, wobei auch die Kerne sich noch mehr auflockern, so daß die Tiere nun ganz das Aussehen der vegetativen Amöben gewinnen (Fig. 378, *D*). — Diese Beobachtungen werden von HARTMANN und NÄGLER (1908) so gedeutet, daß es sich um eine Kopulation handelt, bei der die Karyogamie der Verschmelzung der Plasmakörper der beiden Kopulanten nicht unmittelbar folgt, vielmehr

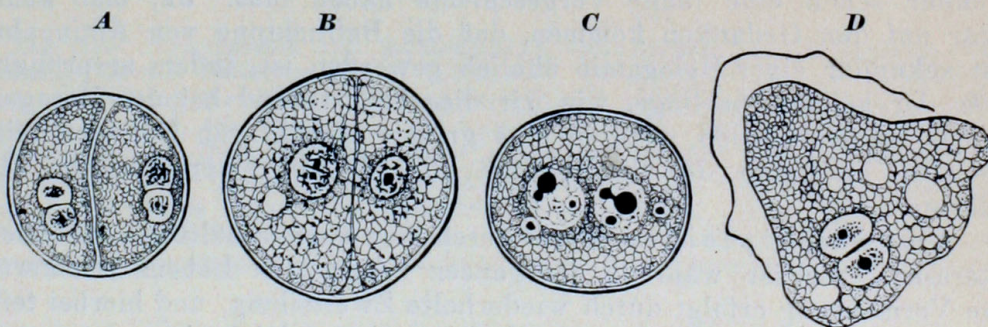


Fig. 378. Isohologamie von *Amoeba diploidea* H. u. N. *A* Zwei gemeinsam encystierte zweikernige Exemplare. *B* In beiden Kopulanten, deren gegenseitige Abgrenzung undeutlich zu werden beginnt, sind die beiden Kerne zu je einem einzigen verschmolzen. *C* Reduktionserscheinungen an den Kernen nach Verschmelzung der beiden Plasmakörper. *D* Ausschlüpfen der zweikernigen Amöbe aus der Cyste. Nach HARTMANN und NÄGLER 1908.

die Kerne der beiden Kopulanten während des ganzen vegetativen Lebens Generationen hindurch unverändert nebeneinander liegen bleiben, um erst unmittelbar vor der nächstfolgenden Kopulation das Synkaryon zu bilden.

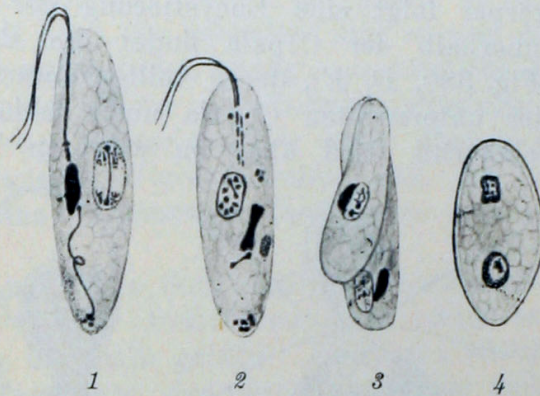
Einige andere Fälle von Hologamie sind dadurch bemerkenswert, daß zwar die Kopulanten durchaus den vegetativen Formen der be-

treffenden Art gleichen, daß sie sich aber voneinander durch eine geringe Größendifferenz unterscheiden, so daß uns hier bei dem Fehlen sonstiger erkennbarer Unterschiede zwischen den Kopulanten die einfachste, eben nur auf die Größe beschränkte Form einer geschlechtlichen Differenzierung entgegentritt. Diese Anisohologamie oder Anisomakrogamie scheint bisher nur bei Flagellaten beobachtet zu sein.

Hierher gehört z. B. *Herpetomonas muscae domesticae*, bei der nach PROWAZEK (1904) „die selten erfolgende Kopulation insofern einen ursprünglichen Charakter besitzt, als hier fast gleichartig aus-

Fig. 379. Anisohologamie von *Herpetomonas muscae domesticae*.

1 Reduktionsteilung des Kernes, 2 Reduktionsteilung des Blepharoplasten, 3 Aneinanderlagerung der beiden Kopulanten nach Rückbildung ihrer Geißeln, 4 Copula mit noch unverschmolzenen Kernen. Nach PROWAZEK 1904.



gebildete Formen miteinander kopulieren. Das eine zur Kopulation schreitende Individuum ist meistens nur etwas größer und besitzt eine größere Avidität zu den Farbstoffen; man kann es nach Analogie mit den anderen Flagellaten als das Weibchen bezeichnen. Vor der Befruchtung unterliegen die Zellen einer weitgehenden Reduktion, die in sichtbarer Weise an folgende Bestandteile geknüpft ist: 1) an den Geißelapparat und vermutlich auch an die Basalkörper; 2) den Blepharoplasten; 3) den Nährkern; 4) den zentralen Achsenfaden und sein abschließendes Diplsoma.“ Bei der Kopulation verschmelzen nicht nur die Hauptkerne („Nährkerne“ bei PROWAZEK) der beiden geißellos gewordenen Kopulanten zu einem Synkaryon, sondern auch die beiden Blepharoplasten (Fig. 379).

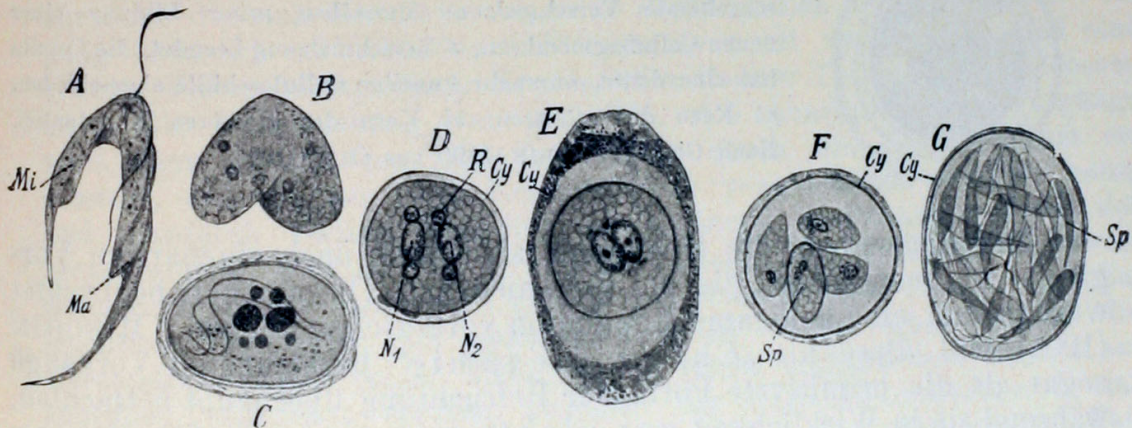


Fig. 380. Anisohologamie von *Bodo lacertae* (GR.). A Beginn der Kopulation. B Späteres Stadium nach Rückbildung der Geißeln. C Encystierung. D Reduktion der Kerne. E Die reduzierten Kerne haben sich aneinander gelagert, sind aber noch nicht verschmolzen. F, G Metagame Fortpflanzung im Inneren der Cyste. A, B und G nach dem Leben, C—F nach gefärbten Präparaten. Cy Cystenhülle, Ma größerer, Mi kleinerer Kopulant, N_1 , N_2 die beiden reduzierten Kerne der Kopulanten, R Reduktionskern, Sp in der Cyste entstandene Sprößlinge der Copula. Nach PROWAZEK 1904 aus DOFLEIN.

Auch bei *Bodo lacertae* konnte die Kopulation von PROWAZEK (1904) nur zweimal verfolgt werden. Die Kopulanten „waren nicht gleich groß, jedoch war der Zelleib beider in gleicher Weise etwas halbmondförmig eingezogen (Fig. 380, A), und sie verschmolzen terminal in der Weise zusammen, daß die ausgeschweiften Flächen einander zugekehrt waren. Bald nach der Verschmelzung der Vorderenden wurden die zwei Geißeln des einen Individuums reduziert, so daß zunächst die Copula nur ein Geißelpaar besaß. Bald begannen sich die beiden Zelleiber zusammenzuziehen und abzurunden, wobei schließlich auch das letzte Geißelpaar eine Resorption unter Verquellungserscheinungen erfahren hat“ (Fig. 380, B). Nach Verschmelzung und Abrundung der beiden Plasmakörper folgt eine Encystierung der Copula (Fig. 380, C, D), und erst innerhalb der Copula findet die Reduktion der beiden Kerne statt (Fig. 380, D, E), deren völlige Verschmelzung freilich wegen Absterbens der untersuchten Copula nicht mehr beobachtet werden konnte. Anscheinend wird aber im weiteren Verlaufe, wie gleich hier bemerkt

sei, die Kopulationscyste zu einer Dauercyste, die mehrfach beobachtet werden konnte und innerhalb deren eine multiple Vermehrung stattfindet (Fig. 380, F, G).

Als drittes Beispiel für Anisohologamie kann *Chlamydomonas brauni* angeführt werden (nach GOROSCHANKIN 1890), bei dem der Größenunterschied beider Kopulanten noch beträchtlicher ist als in den vorigen Fällen (vgl. Fig. 381).

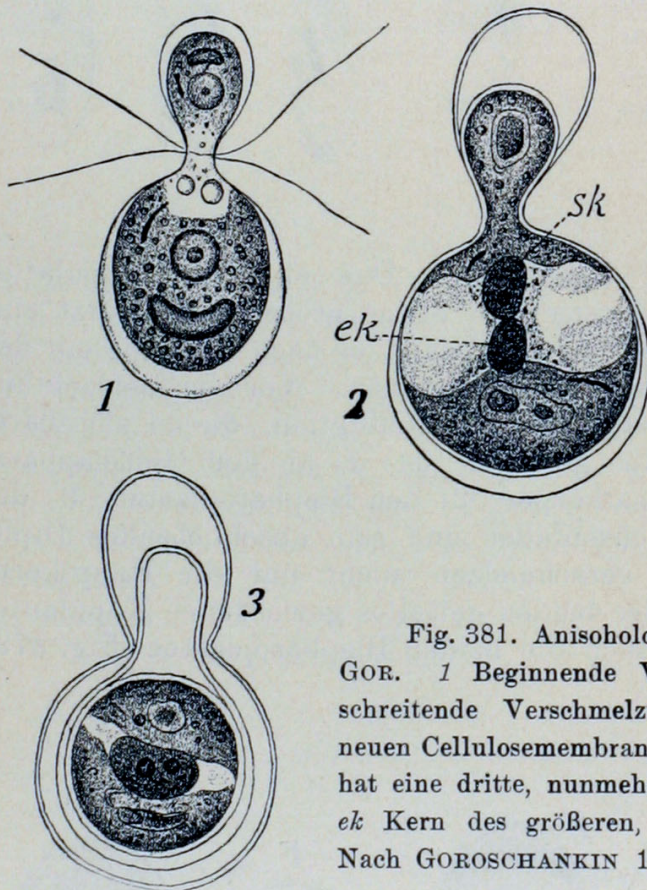


Fig. 381. Anisohologamie von **Chlamydomonas brauni** GOR. 1 Beginnende Vereinigung der Kopulanten, 2 fortschreitende Verschmelzung derselben unter Bildung einer neuen Cellulosemembran, 3 Verschmelzung beendet, die Copula hat eine dritte, nunmehr kugelige Cellulosehülle abgeschieden. *ek* Kern des größeren, *sk* Kern des kleineren Kopulanten. Nach GOROSCHANKIN 1890 aus OLTMANNS.

Anschließend an die Hologamie sind auch noch eigenartige Vorgänge zu besprechen, die bei verschiedenen Thecamöben beobachtet wurden und eine hologame Kopulation vortäuschen können. MINCHIN (1902) will diese als „Chromidiogamie“ bezeichneten Vorgänge sogar als die primitivste Form der Befruchtung überhaupt betrachten, während sie in Wirklichkeit gar nichts mit einer Befruchtung zu tun haben.

Am eingehendsten sind die fraglichen Vorgänge von ZUELZER (1904) bei *Diffugia urceolata* untersucht worden. Bei dieser ist bei Eintritt ungünstiger Lebensbedingungen eine vorübergehende plastogame Verbindung von 2, seltener auch 3 oder 4 Exemplaren (vgl.

S. 194 f.) nicht selten. Tiere von oft ganz verschiedener Schalengröße legen sich mit den Schalenöffnungen aufeinander, und ihr Plasma verschmilzt miteinander. Gewöhnlich werden dann bald darauf zwischen den Mündungen der beiden Schalen lebhaft bewegliche Pseudopodien von auffallender Länge ausgestreckt. Die Zeitdauer der Vereinigung schwankt und beträgt manchmal nur 2 Stunden, in anderen Fällen wieder 2—3 Tage, ausnahmsweise sogar 8—14 Tage, doch scheint dies letztere pathologisch zu sein. Nur das der Schalenmündung benachbarte Plasma ist an dieser vorübergehenden Plastogamie beteiligt; die Kerne und die in Form von kleinen Chromatinbrocken ins Plasma eingelagerte Chromidialsubstanz bleiben völlig unverändert im Fundus der einzelnen Schalen liegen. Die biologische Bedeutung dieser Plastogamie ist noch unklar; viele Tiere bewegten sich nach ihr lebhafter und zeigten sich vollkommen lebensfähig, andere dagegen ließen häufig eigentümliche Absterbeerscheinungen erkennen. Außer dieser gewöhnlichen Plastogamie wurde nun aber auch ein Vorgang beobachtet, der zwar ebenso beginnt, dann aber einen ganz anderen Verlauf nimmt und der von der Verfasserin anfangs für eine eigenartige Kopulation gehalten wurde.

„Zwei Diffflugien legen sich mit ihren Schalenöffnungen aneinander und verschmelzen. Die Schalen beider Individuen sind meist etwa gleich groß und mit Weichkörper nur halb gefüllt. Die Tiere strecken keine Pseudopodien aus. Hierauf beginnt das eine Tier in das andere überzufließen. Manchmal ist dieser Vorgang schon nach einer Stunde beendet. Andere Paare liegen erst länger, oft einen Tag lang, plastogamisch verbunden beisammen, und erst dann beginnt das eine Individuum in das andere überzufließen. Wenn die eine Schale fast ganz gefüllt und die andere fast leer geworden ist, werden dort, wo die beiden Schalenöffnungen aneinander liegen, viele lange, lebhaft bewegliche Pseudopodien hervorgestreckt, und so wird die leere Schale abgestoßen. Meist sind dann nur hyaline Pseudopodien zu sehen; es kommt aber auch vor, daß noch ein breiter Lappen körnigen, inhaltreichen Plasmas aus der Schale hervorsieht, dem erst außen das stets hyaline Plasma anliegt, welches die Pseudopodien bildet. Nach und nach wird nun auch die Masse des körnigen Entoplasmas eingezogen, und es schauen nur noch die sich lebhaft bewegenden Pseudopodien hervor. Diesen Vorgang habe ich an lebenden Diffflugien sehr oft verfolgt, so daß eine etwaige Verwechslung dieser Kopulation mit einer Teilung ausgeschlossen ist.“ Die Untersuchung der weiterhin sich anschließenden Vorgänge wird dann freilich am lebenden Objekt durch die Schale derart erschwert, daß sie nur nach Konservierung vorgenommen werden kann, und hierdurch verliert natürlich die richtige Aneinanderreihung der verschiedenen Stadien an Sicherheit. Jedenfalls konnten Kernverschmelzungen, die doch sonst gerade das wesentlichste Moment der Befruchtung darstellen, nie gefunden werden. Wohl aber scheint die Chromidialsubstanz beider Tiere sich zu einem einheitlichen Haufen anzuordnen. Hiernach erschien zunächst der Gedanke naheliegend, daß die Kernverschmelzung der anderen Protozoen im vorliegenden Fall durch eine „Verschmelzung“ der Chromidialmassen ersetzt werde, zumal die Kerne in der anscheinenden Copula, deren Zahl infolge ursprünglicher Vielkernigkeit der beiden verschmolzenen Diffflugien bis zu 40 betragen kann, zu degenerieren und dafür aus der Chromidialsubstanz heraus neue Kerne gebildet zu werden schienen, während andererseits

die ganzen geschilderten (fast nur im Herbst, vom September ab, zu beobachtenden) Vorgänge mit der bereits auf S. 162 und 164 besprochenen

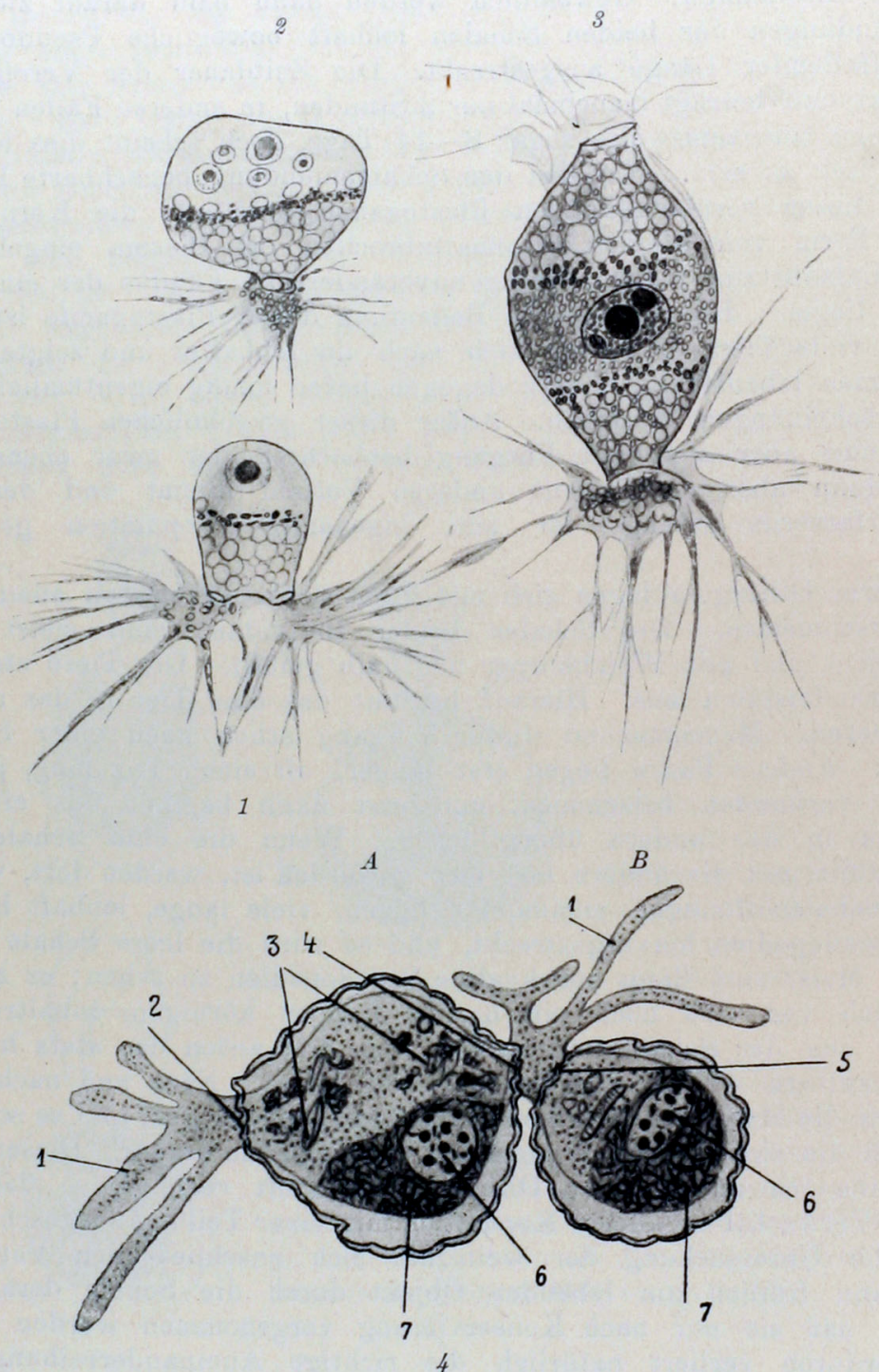


Fig. 382. Plasmogame Verschmelzungen. 1—3 **Chlamydothryx stercorea** (CIENK.). 1 Plasmogamie zweier Tiere mit Kernverschmelzung. 2 Durch Plasmogamie entstandenes fünfkerniges Monstrum. 3 Plasmogamisiertes Tier mit 2 Mundöffnungen und mit 3 Karyosomen im Kern, durch Verschmelzung von mindestens 3 Individuen entstanden. Nach SCHAUDINN 1911. 4 **Diffugia lobostoma** LEIDY. Ein Doppeltier A und ein normales Tier B in plasmogamer Verbindung. 1 Lobopodien, 2 und 4 die beiden Oeffnungen der monströsen Doppelschale, 3 Nahrungskörper, 4 siehe 2, 5 die Oeffnung der einfachen Schale, 6 Kern, 7 perinukleäres Plasma mit Chromidialsubstanz. Nach RHUMBLER 1898.

Encystierung zu enden scheinen. SAWRCZEWSKI (1908), der einen im wesentlichen durchaus ähnlichen Vorgang auch bei *Arcella vulgaris* beobachtete (bemerkenswerterweise ebenfalls im Herbst, seltener auch

im Frühjahr), bezeichnete deshalb die anscheinende, so eigenartig verlaufende Kopulation im Gegensatz zur Karyogamie als „Chromidiogamie“, und SAWRCZEWSKIS durchaus hypothetischer und unbewiesener Gedanke, daß die Verteilung der Kernsubstanz im Plasma der Protozoenzelle in Form zerstreuter Chromidien ursprünglicher sei als der morphologisch einheitliche Kern, liegt wohl auch MINCHINS erwähnter Annahme von dem primitiven Charakter der Chromidiogamie zugrunde.

Später gelang es jedoch ZUELZER (1909), bei *Diffugia* die wirkliche Kopulation in Form einer Merogamie zu entdecken (vgl. hierzu unten S. 407), und hierdurch wurde natürlich der Deutung der vorstehend geschilderten Vorgänge als Kopulation der Boden entzogen, denn daß bei einer einzelnen Art mehrere ganz verschiedenartige Befruchtungsvorgänge nebeneinander vorkommen, ist ohne jede Analogie und ohne jede Wahrscheinlichkeit¹⁾, sobald wir hierbei von den wenigen Fällen absehen, in denen nach Art des gleichzeitigen Vorkommens von geschlechtlicher Fortpflanzung und Parthenogenese bei Metazoen für einzelne Protozoen neben einer amphimiktischen Befruchtung noch Autogamie angegeben wird (vgl. hierzu die unten folgende Besprechung der letzteren). Im weiteren Verlauf ihrer Untersuchungen ist denn auch ZUELZER (nach persönlicher Mitteilung) zu der Ueberzeugung gelangt, daß die als Chromidiogamie bezeichneten herbstlichen Verschmelzungen vor der Encystierung sicher nur vegetativ-plastogamische und keinerlei kopulative Bedeutung haben. Dies steht auch durchaus in Einklang mit Erfahrungen an anderen Thecamöben. So hat z. B. SCHAUDINN (1903) bei *Centropyxis aculeata* und *Chlamydophrys stercorea* häufig 2 oder mehr Individuen in plastogamer Verbindung gefunden, am häufigsten in älteren Kulturen, in denen zahlreiche Individuen auf engem Raume bei reichlicher Nahrung zusammenleben. Die Teilung solcher plastogamisch verbundener Tiere führt dann zu einer Fülle verschiedenartiger Monstrositäten und Doppelbildungen. So hat SCHAUDINN z. B. die Bildung 8—12-kerniger Riesenindividuen von *Chlamydophrys* beobachtet, bei denen dann alle Kerne zu einem Riesenkern zusammenfließen (vgl. auch Fig. 382). Alle diese Vorgänge sind aber nach SCHAUDINNS Auffassung nur pathologischer Natur.

2. Pädogamie.

Als Pädogamie wurde von LÜHE (1902) die Kopulation von *Polytoma* bezeichnet, weil bei dieser die Kopulanten jugendlichen vegetativen Individuen gleichen und auch, anstatt zu kopulieren, heranwachsen und sich durch Teilung vermehren können. Dieser Befruchtungsmodus ist deswegen von einem besonderen Interesse, weil er als phylogenetische Uebergangsstufe von der Hologamie zur Merogamie aufgefaßt werden kann.

1) Die neuere Protozoenforschung hat uns ja freilich so manche Ueberraschung gebracht, so daß wir auch auf Verwirklichung von Unwahrscheinlichkeiten rechnen müssen. Trotzdem aber scheint mir bis zum Beweise des Gegenteils die Zugehörigkeit zweier verschiedener Befruchtungstypen zum Zeugungskreise einer Art mit der einen oben genannten möglichen Ausnahme ausgeschlossen werden zu können.

Die Vermehrung von *Polytoma* erfolgt ähnlich wie bei *Chlamydomonas* (Fig. 19, S. 17) durch mehrfach wiederholte Teilungen innerhalb der Cellulosemembran des Muttertieres. „Auf dem Höhepunkt der Entwicklung entstehen durch fortgesetzte Teilungen innerhalb der Mutterhülle 8 Sprößlinge; später, sobald die Teilungsenergie im Sinken begriffen ist, bilden sich auch nur 4, ja 2 Tochterindividuen aus“ (PROWAZEK 1901). An eine solche Fortpflanzung schließt sich dann die Befruchtung an, die aber offenbar erst nach einer Reihe ungeschlechtlicher Generationen bei sinkender Teilungsenergie eintritt. Nach KRASSILSTSCHIK (1882), DANGEARD (1901) (der jedoch ausdrücklich hervorhebt, daß er einen sicheren Unterschied zwischen den vegetative Sprößlinge liefernden „Sporangien“ und den Kopulanten liefernden „Gametangien“ nicht auffinden konnte) und PROWAZEK (1903) entstammen nämlich die zur Kopulation schreitenden Individuen nicht aus einer Acht-, sondern höchstens aus einer Vierteilung; FRANCÉ (1894) freilich will auch Kopulation solcher Polytomen beobachtet haben, die aus Achtteilungen hervorgegangen seien, betont aber ebenfalls „eine gewisse Reihe“ vorangegangener Teilungen. In jedem Falle aber ist das Schicksal der aus einer solchen Teilung hervorgegangenen jungen Formen ein verschiedenes: sie können gleich nach dem Verlassen der Mutterhülle zur Kopulation schreiten, und zwar ist dies, falls überhaupt eine Kopulation stattfindet, nach PROWAZEK (1903) die Regel; oder sie können auch noch später kopulieren, nachdem sie etwas herangewachsen sind (KRASSILSTSCHIK, FRANCÉ, PROWAZEK); nach KRASSILSTSCHIK können auch eine junge, kleine *Polytoma* und eine ältere, bereits etwas herangewachsene miteinander kopulieren, ohne daß jedoch dieser gelegentlichen und fakultativen Anisogamie irgendeine besondere geschlechtliche Differenzierung zugrunde läge (in der Regel scheinen die beiden miteinander kopulierenden Individuen einander gleich zu sein); endlich aber kann auch die Kopulation unterbleiben, und es können statt dessen die Sprößlinge völlig heranwachsen und wiederum zur Teilung schreiten (KRASSILSTSCHIK 1882, vgl. auch PROWAZEK 1901). Das wesentlich Charakteristische bei diesem Kopulationsvorgang scheint hiernach — abgesehen von dem Zeitpunkt seines Eintretens, auf den ich später in anderem Zusammenhange noch einmal zurückzukommen habe — darin zu liegen, daß die Kopulanten sich nicht merklich von vegetativen Formen unterscheiden (was auch speziell DANGEARD ganz besonders betont), aber ausgesprochen jugendlichen Charakter haben. Eben deshalb hat LÜHE für diese Form der Befruchtung seinerzeit den Begriff Pädogamie geprägt, der später von HARTMANN (1909) freilich eine völlige Umdeutung erfahren hat, indem dieser eine Kopulation von Abkömmlingen ein und desselben Mutterindividuums (Endogamie bei CALKINS, MINCHIN und LÜHE) als Pädogamie bezeichnete. Dabei findet gerade bei *Polytoma*, für die LÜHE den Begriff der Pädogamie schuf und von der auch HARTMANN bei seiner Besprechung der Pädogamie ausgeht, eine Endogamie (d. h. also eine Pädogamie sensu HARTMANN nec LÜHE) gar nicht einmal statt. Wenigstens ist bei keinem der vorstehend zitierten Untersucher der Art, die auch HARTMANN als seine Gewährsmänner zitiert, eine diesbezügliche Angabe zu finden, und KRASSILSTSCHIKS, von DANGEARD ausdrücklich bestätigte Angabe der Kopulation verschieden großer Individuen spricht direkt gegen die Annahme einer Endogamie, zumal bei *Polytoma* eine inäquale Teilung noch nie beobachtet ist.

3. Merogamie (Mikrogamie).

Sehr viel häufiger als die Hologamie und die nur vereinzelt vorkommende Pädogamie ist anscheinend bei Protozoen eine Form der Befruchtung, bei der spezifische, nur zum Zwecke der Befruchtung gebildete Individuen, die sogenannten Gameten, die wir auch beim Fehlen von Geschlechtsunterschieden als Geschlechtsindividuen betrachten können, miteinander kopulieren. Meist entstehen diese Gameten dann auch durch einen besonderen, von der gewöhnlichen vegetativen Vermehrung abweichenden Vermehrungsprozeß, den wir mit HARTMANN (1904) als Gamogonie bezeichnen, während jegliche, nicht zur Bildung von Gameten führende Fortpflanzung im Gegensatz hierzu als Agamogonie bezeichnet werden kann.

Das die Gameten bildende Mutterindividuum nennen wir nach Analogie der Spermatocyten und Ovocyten Gametocyt.

HARTMANN spricht statt dessen von Gamont und stellt diesem das bei seiner Vermehrung keine Gameten liefernde Individuum als Agamont gegenüber. Entsprechend bezeichnet er die nicht zur Kopulation bestimmten, direkt heranwachsenden Sprößlinge des letzteren im Gegensatz zu den Gameten als Agameten.

In fast allen bisher genügend bekannten Fällen von Gamogonie handelt es sich um eine multiple Teilung des Gametocyten. Entstehen, wie dies in der Regel der Fall ist, beide miteinander kopulierende Gameten durch eine solche multiple Teilung, so bezeichnen wir diese Form der Befruchtung als Merogamie oder Mikrogamie, und wie bei der Hologamie können wir dann weiter, je nachdem ob die Gameten Geschlechtsunterschiede vermissen oder erkennen lassen, eine Isomerogamie und eine Anisomerogamie (bzw. Iso- und Anisomikrogamie) unterscheiden. Demgemäß sprechen wir auch von Isogameten und Anisogameten.

Von Flagellaten, bei denen Hologamie die typische Befruchtungsform darzustellen scheint, liegen sichere und ausreichende Beobachtungen einer Merogamie kaum vor; GOLDSCHMIDT (1907) hat zwar für Rhizomastiginen eine Anisomerogamie geschildert, indessen ist hier eine Verwechslung der anscheinenden Gameten mit Parasiten der betreffenden Rhizomastiginenarten doch wohl noch nicht völlig ausgeschlossen (vgl. hierzu auch S. 71, 363 und 409); andererseits werden HARTMANN'S (1910) Angaben über Anisomerogamie bei Trichonymphiden von GRASSI (1911) angezweifelt, der annimmt, daß HARTMANN irrtümlicherweise verschiedene Arten als Entwicklungsstadien ein und derselben Art zusammengeworfen habe.

In weitester Verbreitung findet sich dagegen Merogamie bei den Sarcodinen; sie ist nicht nur von Amöben (vgl. S. 70 f.), Thecamöben (Diffugia, Centropyxis, Chlamydomphrys, Euglypha, Trichosphaerium) und Heliozoen (Actinosphaerium) bekannt, sondern auch bei Foraminiferen und Radiolarien offenbar ganz allgemein verbreitet. Ebenso allgemein verbreitet ist sie bei den Gregarinen und endlich findet sie sich auch bei Neosporidien.

Als Regel gilt, daß nur Abkömmlinge verschiedener Gametocyten miteinander kopulieren, und bei den Gregarinen wird eine solche amphimiktische Befruchtung dadurch sichergestellt, daß sich bereits die beiden Gametocyten gemeinsam encystieren. Sehr viel seltener ist merogame Kopulation zwischen Abkömmlingen ein und desselben Gametocyten (Inzucht, Endogamie, bei *Actinosphaerium* und vielleicht auch bei *Actinomyxidien*).

Im einfachsten Falle erscheinen die beiden miteinander kopulierenden Gameten wie auch die sie bildenden Gametocyten, soweit unsere Hilfsmittel eine diesbezügliche Feststellung gestatten, einander völlig gleich, z. B. bei *Amoeba minuta* (vgl. S. 70), *Diffugia*, *Chlamydomorphs*, *Euglypha*, *Trichosphaerium*, Foraminiferen, Gregarina. Geschlechtsunterschiede können sich dann in den verschiedenen systematischen Gruppen (z. B. bei Amöben und Gregarinen) unabhängig voneinander ausbilden. Vielfach sind sie ganz oder doch im wesentlichen auf Größenunterschiede der Gameten beschränkt, z. B. bei *Amoeba blattae* (vgl. S. 71), *Centropyxis*, Radiolarien, *Monocystis*, *Actinomyxidium*. In anderen Fällen greifen sie dagegen auch auf die Organisation der Gameten über, indem von diesen der eine (männliche) eine größere Beweglichkeit gewinnt als der andere (weibliche), z. B. bei *Stylorhynchiden* (Fig. 408 bis 410) und *Dactylophoriden* (Fig. 411—412). Schließlich kann der Geschlechtsdimorphismus auch noch auf die Gametocyten übergreifen, indem diese sich bei ihrer Fortpflanzung verschieden verhalten; außer bei den eben genannten Gregarinenfamilien ist dies z. B. auch bereits, wenngleich in geringerem Grade, bei *Lankesteria* (Fig. 397), *Urospora* (Fig. 399) und anderen *Monocystideen* der Fall.

In Rücksicht darauf, daß, wie bereits erwähnt, die Ausbildung der Geschlechtsunterschiede in verschiedenen Protozoengruppen unabhängig voneinander erfolgt ist, während andererseits die merogamen Befruchtungsvorgänge der verschiedenen Klassen der Protozoen bemerkenswerte Unterschiede aufweisen, empfiehlt es sich, im folgenden nicht Iso- und Anisomerogamie getrennt zu betrachten, sondern der speziellen Besprechung ausgewählter Beispiele eine systematische Anordnung zugrunde zu legen.

1. **Sarcodina.** a) *Amoebozoa*. Hinsichtlich der Amöben kann hier auf die monographische Darstellung auf S. 69—71 verwiesen werden. Es sei nur noch einmal hervorgehoben, daß die Gameten unbegeißelt und auch selbst amöbenförmig sind, teils Isogameten (*A. minuta*), teils infolge eines konstanten, wenngleich geringen Größenunterschiedes sexuell dimorph (*A. blattae*).

Amöboide Gameten, die geringe Größenunterschiede aufweisen und deshalb als „Makroamöben“ und „Mikroamöben“ unterschieden werden und deren Kerne als Sekundärkerne aus dem Chromidium hervorgehen, wollen AWERINZEW (1906) und ELPATIEWSKY (1907) auch bei *Arcella* gefunden haben. Die Zahl der von einem Muttertier gebildeten „Makroamöben“ soll nach ELPATIEWSKY bei *A. vulgaris* ziemlich konstant sein und meist 8—9 betragen. Dagegen soll die (von der Zahl der gebildeten Sekundärkerne abhängige) Zahl der „Mikroamöben“ großen Schwankungen unterliegen: sie kann bis 39 und vielleicht noch mehr betragen und dann wird das ganze Plasma der *Arcella* verbraucht, so daß nur deren (Primär-)Kerne übrig bleiben und ausgestoßen werden, worauf die Mikroamöben die ganze Schale erfüllen. In

anderen Fällen ist jene Zahl wesentlich geringer, und es bleibt dann von der Arcella auch noch ein mehr oder weniger großer Plasmarest um die (Primär-)Kerne erhalten. Nach dem Ausschlüpfen aus der Arcellschale nehmen sowohl die „Makro-“ wie die „Mikroamöben“ ein heliozoenartiges Aussehen an. Sollten es etwa anstatt Gameten der Arcella Nuclearia-ähnliche Parasiten derselben sein? (Der gleiche Verdacht drängt sich übrigens auch bei der von ELPATIEWSKY (1907) und SAWR-CZEWSKI (1908) geschilderten vegetativen multiplen Vermehrung der Arcella durch „Pseudopodiosporen“ auf, vgl. S. 363.) Jedenfalls bedürfen diese Entwicklungsvorgänge noch genauerer Nachprüfung.

Die Form kleiner (hier freilich schalenbildender) Amöben haben die Gameten (und zwar Anisogameten) auch bei *Centropyxis aculeata*, deren von SCHAUDINN (1903) geschilderte Befruchtung interessant genug ist, um hier näher betrachtet zu werden. Nachdem die Tiere nach vielfach wiederholten Knospungsteilungen (vgl. S. 334 ff.), während deren sie stets eine bilateral-symmetrische, beutelförmige und auf der Kriechseite abgeflachte Schale mit exzentrischer Mündung bilden (Fig. 383), „ihre Maximalgröße erreicht haben, verlieren sie die Fähigkeit, sich durch Teilung fortzupflanzen, es beginnen jetzt andere Vorgänge, die zur Bildung einer

zweiten, anders gestalteten Generation führen. In diesen Riesentieren fängt der Kern an, Degenerationserscheinungen zu zeigen. Es treten große Vakuolen in dem sonst dichten Kernnetz auf, die Nukleolen fließen zu größeren Klumpen zusammen, die Kernmembran bläht sich an einzelnen Stellen auf, das Chromidialnetz hingegen ist viel ausgedehnter geworden. Die Chromidien, die bei jüngeren Tieren nur den hinteren Teil der Schale einnehmen (vgl. Fig. 383, B), haben sich so vermehrt, daß sie bis in die vordersten über der Mündung gelegenen Plasmateile sich ausbreiten; die Pseudopodien sind

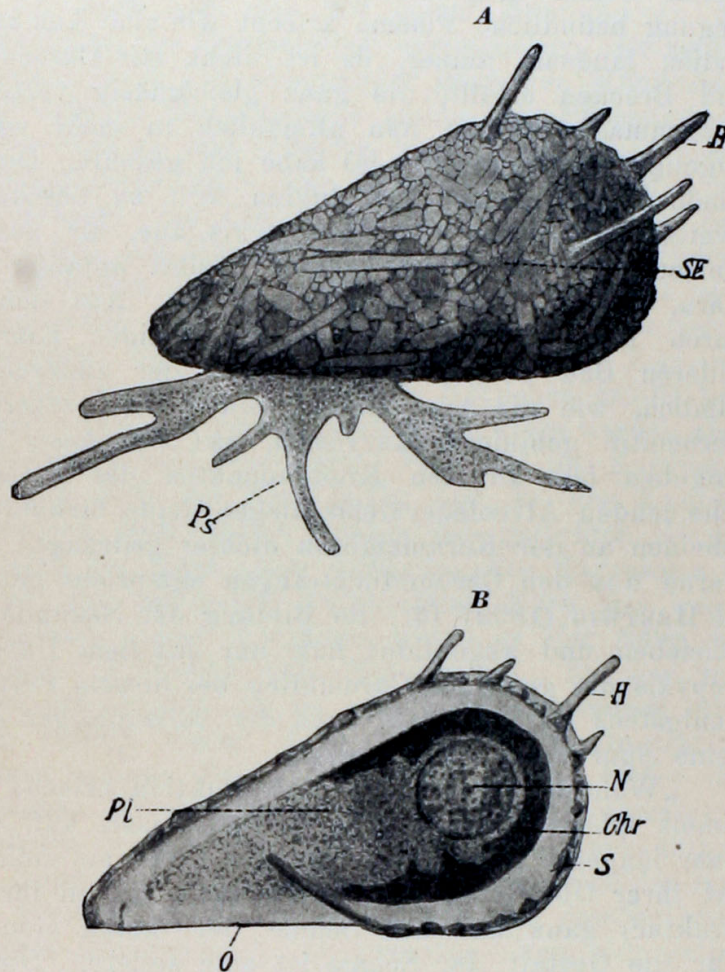


Fig. 383. *Centropyxis aculeata*. Agglutinierendes Süßwasserrhizopod. **A** Seitenansicht des lebenden Tieres, **B** optischer Längsschnitt eines konservierten und gefärbten Exemplares. Chr Chromidialsubstanz, H Stacheln der Schale, N Kern, O Mündung der Schale, Pl Plasma, Ps Pseudopodien, S Schale, SE zur Bildung der Schale miteinander verkittete Fremdkörper. Nach DOFLEIN.

meist eingezogen. In gefärbtem Zustande nimmt das gesamte Plasma, wegen der dicht darin verteilten Chromidien, eine ganz dunkle Kernfärbung an.“ Hierauf fließt das Plasma „unter lebhafter amöboider Bewegung durch die Mündung aus der Schale. Nur ein kleiner Teil des Weichkörpers (etwa $\frac{1}{4}$) mit dem degenerierten Kern und dicht zusammengebackenen Chromidialsträngen bleibt in der Schale zurück und geht zugrunde. Zuweilen wird dieser absterbende Teil auch von dem herausströmenden Plasma mitgerissen und erst außerhalb der nun ganz leeren Schale abgestoßen. Das herausgeflossene, in strömender Bewegung befindliche Plasma kriecht wie eine Amöbe mit stumpfen Pseudopodien langsam umher, es ist dicht mit Chromidialsträngen, Körnern und Brocken erfüllt, die ganz gleichmäßig verteilt erscheinen. Diese Plasmamasse zerfällt nun allmählich in mehr oder weniger zahlreiche kugelige Teilstücke, 20—50 habe ich gezählt. Diese kriechen als kleine Amöben auseinander und bilden sich zu beschalten Individuen einer zweiten Generation von *Centropyxis* aus, die ganz anders aussieht als die erste. Jede kleine Amöbe besitzt anfangs keinen differenzierten Kern, sondern nur einige Chromidien. Aus den letzteren wird dann durch Konzentration ein bläschenförmiger Kern gebildet, der ganz anderen Bau besitzt als der Kern der anderen Generation. Er hat nämlich, wie die Arcellakerne, ein großes, zentrales, aus Platin und Chromatin gebildetes Karyosom, das von einer hellen alveolären Zone umgeben ist. In den Knotenpunkten des optisch als Netzwerk erscheinenden Alveolensystems liegen feine färbbare Körnchen; dieselben scheinen an der Kernmembran dichter gedrängt. Die Entstehung dieser Kerne aus den Chromidialsträngen entspricht ganz den Vorgängen, die R. HERTWIG (1899) für die Bildung der Sekundärkerne bei *Arcella* beschrieben und abgebildet hat, nur mit dem Unterschied, daß bei *Centropyxis* die gesamten Chromidien bei diesem Prozeß verbraucht werden, wenigstens ist von ihnen nach der vollständigen Ausbildung des Kernes keine Spur mehr nachzuweisen.

„Während dieser Kernrekonstruktion kriecht die Amöbe umher und nimmt allerlei Fremdkörper in das Plasma auf, aus denen sie dann in einer längeren Ruhepause, während deren sie sich halbkugelig abrundet, auf ihrer Oberfläche eine Schale baut, die in ihrem Bau (Kittsubstanzstruktur) ganz mit der Schale der ersten Generation übereinstimmt. Nur die Gestalt der Schale ist eine andere. Die Kriechseite wird von einer weiten, mit nur wenig eingebogenem Rand versehenen Mündung, die die Basis der Halbkugel bildet, gebildet. Die große Mündung liegt also zentral; die Schale ist radiärsymmetrisch, nicht bilateral gebaut, wie bei der ersten Generation.

„Während bei manchen Bruten sich die Ausbildung der kleinen beschalten Organismen in der beschriebenen Weise abspielt, findet man andere, bei denen die durch Zerfall des Plasmas entstandenen Amöben noch eine kompliziertere Entwicklung durchmachen, bevor sie sich eine Schale bauen. Sie vermehren sich nämlich auf die Zahl von je 4 Individuen und sind dann entsprechend kleiner als die Sorte, welche sich direkt mit einer Schale umgibt. Nachdem sich bei dieser zweiten Sorte von Amöben der Kern aus den Chromidien gebildet hat, teilt er sich zweimal hintereinander mit Hilfe des Karyosoms durch eine primitive Mitose. Das vierkernige Plasmaklumpchen zerfällt in 4 einkernige Zellen. Erst diese kriechen auseinander und bauen sich eine ähnliche Schale wie die großen Individuen, die ich vorher geschildert habe.

„Während die großen Formen sich zu Makrogameten entwickeln, stellen die kleinen Mikrogameten dar, welche die ersteren aufsuchen, um mit ihnen zu kopulieren. Die Makrogameten verwenden die aufgenommene Nahrung zur Anlage von feinkörnigen Reservestoffen, ihr Plasma wird dichter; sie unterscheiden sich, abgesehen von der Größe, auch dadurch von den Mikrogameten, deren Weichkörper ganz hell und homogen bleibt. Wenn man nun eine Kultur von Makrogameten mit einer solchen von Mikrogameten in einem Tropfen der feuchten Kammer zusammenbringt, so finden in einigen Stunden fast alle Mikrogameten einen Makrogameten. Je einer legt sich mit seiner Mündung an die Mündung eines Makrogameten, die Plasmaleiber verschmelzen, die beiden Kerne auch; der gewöhnlich in den aufeinander gepreßten Mündungen steckende und in beide Schalen hineinragende einheitliche Plasmakörper rundet sich kugelig oder oval ab und scheidet, indem er sich bedeutend verkleinert, zuerst eine gallertige, dann eine feste dicke Cystenhülle ab. In diesem Zustande verharret die Copula kürzere oder längere Zeit (mehrere Tage oder Wochen bis Monate). Dann kriecht nach Platzen der Hülle der Inhalt als kleine Amöbe heraus. Der Kern besitzt noch den ähnlichen Bau, wie nach der Kopulation, nur ist das Karyosom bedeutend kleiner geworden, während sich die achromatische Zone um dasselbe erweitert und mit mehr nukleolenartigen Körnchen erfüllt hat. Anfangs sind noch Reservestoffe im Plasma vorhanden, diese werden aber unter Vergrößerung der Amöbe bald resorbiert. Während das Karyosom immer kleiner wird, dehnt sich der Kern mehr aus, in den Knotenpunkten des achromatischen Netzwerkes werden die gefärbten Körner größer; so verwandelt sich der Kern unter Auflösung des Karyosoms in den gewöhnlichen, dicht mit Nukleolen durchsetzten Kern des vegetativen Stadiums. Während dieser Vorgänge treten in der Nähe des Kerns auch die färbbaren Körnchen und Stränge auf. Es war mir nicht möglich, sicher zu entscheiden, ob sie vom Kern abstammen oder nur diffus im Plasma verteilt waren und nun durch Konzentration deutlicher werden. Nach einiger Zeit des Umherkriechens bildet die Amöbe aus aufgenommenen Fremdkörpern eine typische Centropyxischale, das Chromidialnetz wird immer deutlicher, der Kern nimmt seine charakteristische Lage ein, und das junge Tier unterscheidet sich abgesehen von seiner winzigen Größe in nichts von den gewöhnlichen vegetativen Stadien dieses Rhizopoden.“ In gewissen alten, sich selbst überlassenen Centropyxiskulturen trifft man oft nur ganz große Stadien und ganz kleine lebend an. „Während die ersteren Tiere sind, die am Ende ihres vegetativen Zustandes stehen, befinden sich die kleinen am Anfang. Jene werden bald die Geschlechtsgeneration bilden, diese sind aus einer solchen vor kurzem hervorgegangen“.

Als einfachstes Beispiel für Thecamöben mit begeißelten Gameten sei *Chlamydophrys stercorea* auf Grund der Untersuchungen von SCHAUDINN (1903) betrachtet. „Die Entstehung der Geschlechtsformen weicht in mehrfacher Hinsicht von den bei Centropyxis geschilderten Vorgängen ab, dort floß das mit Chromidien durchsetzte Plasma heraus und ließ die zugrunde gehenden Teile zurück. Hier ist es umgekehrt; alle Fremdkörper und auch der degenerierte Zellkern werden ausgestoßen und im Hintergrund der Schale bleibt nur die Chromidialmasse mit wenig Plasma zurück und ballt sich zu einer Kugel zusammen. In dem ungeteilten Plasma differenzieren sich aus dem dichten Chromidium die Geschlechtskerne in geringer Zahl (meist wurden

8 beobachtet), erst dann zerfällt die Plasmakugel innerhalb der Schale in so viel Teilstücke als Kerne vorhanden sind (Fig. 384, 1, 2). Diese anfänglich kugeligen Zellen nehmen kurz-ovale Gestalt an und entwickeln an einem Pol 2 Geißeln, mit deren Hilfe sie aus der Schale ausschwärmen (Fig. 384, 3). Diese Schwärmer, die in meinen Kulturen meist von vielen Tieren gleichzeitig gebildet wurden, stellen die Gameten

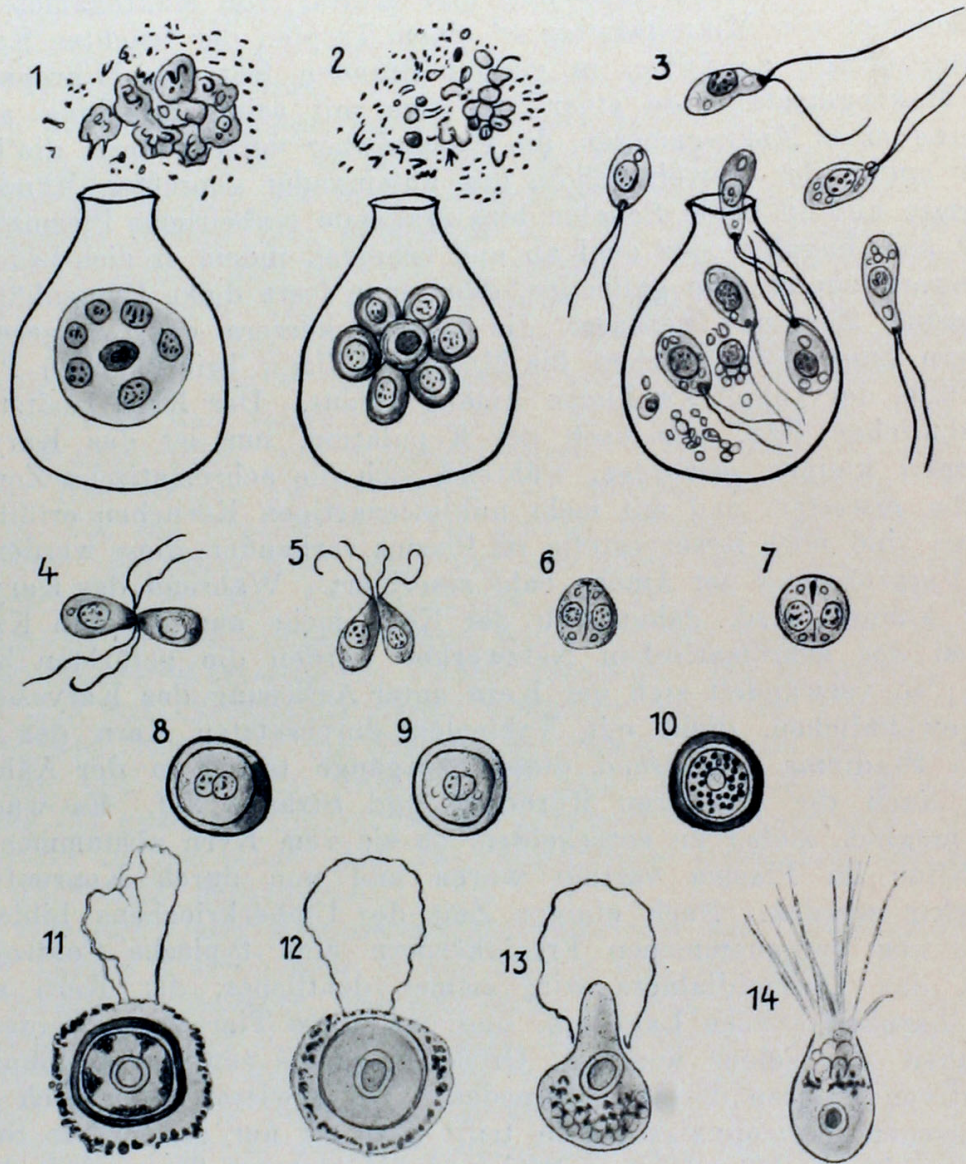


Fig. 384. *Chlamydomonas stercoraria* (CIENK.). Gamogonie und Kopulation. 1 Ende der Kernvermehrung bei der Gamogonie, 2 Zerfall in Gameten, 3 Ausschwärmen der Gameten, 4—7 vier aufeinander folgende Stadien der Kopulation, 8 encystierte Copula vor der Kernverschmelzung, 9 beginnende Kernverschmelzung in der Copula, 10 Copula nach beendeter Karyogamie mit dicker Cystenhülle (Hypnozygote), 11—13 drei aufeinander folgende Stadien der Keimung der Hypnozygote, 14 die aus der Hypnozygote ausgeschlüpfte junge *Chlamydomonas* (vgl. auch Fig. 221 auf S. 220). Nach SCHAUDINN 1911.

dar; je 2 aus verschiedenen Schalen stammende kopulieren (Fig. 384, 4—7) und bilden eine Cyste, die eine dicke Hülle besitzt (Fig. 384, 8—10). Nach kurzer Zeit wird die Hülle braun und höckerig, so daß diese kleinen Gebilde ein sehr charakteristisches Aussehen haben.“ Sehr charakteristisch ist auch das weitere Schicksal dieser Cysten, die sehr lange unverändert bleiben können und nur dann auskeimen (Fig. 384, 11—14), wenn sie den Darm des Menschen oder eines anderen Wirbeltieres passiert

haben. Dies Auskeimen erfolgt dann oft erst in dem entleerten Kote (der Kot verschiedener Wirbeltiere ist der normale Wohnort der Chlamydo-phrys); es kann aber auch bereits im Darm erfolgen, doch bildet sich dann in der Regel die Schale erst nach der Entleerung aus dem Darm. Nur in alkalischem Dickdarminhalt ist eine vorübergehende Ansiedlung des Rhizopoden möglich, die dann auch zu atypischer Vermehrung führen kann (vgl. die Besprechung von *Leydenia* auf S. 358f.).

In ähnlicher Weise erfolgt die Gamogonie nach POPOFF (1912) auch bei *Euglypha*, die zunächst innerhalb ihrer Schale eine ebenfalls aus Kieselplättchen aufgebaute, ovoide, völlig geschlossene „innere Schale“ bildet. Innerhalb dieser erfolgt nach weiterer Kontraktion und kugeliger Abrundung des Weichkörpers eine Encystierung durch Abscheidung einer anfangs dünnen und durchsichtigen, allmählich dicker und gelblich werdenden Membran, die vermutlich aus Pseudochitin besteht (vgl. Fig. 385). Im Innern dieser Cyste werden dann durch multiple Vermehrung sehr zahlreiche, anscheinend nur eingeißlige Gameten gebildet. (Auch bei den Isogameten der ebenso wie Chlamydo-phrys und *Euglypha* zu den flosen Thecamöben gehörigen *Gromia oviformis* DUJ. [= *Hyalopus dujardini* SCHAUD.] hat SCHAUDINN [1894] nur eine Geißel beobachtet.) Die ausgeschwärmten Gameten kopulieren miteinander als Isogameten, die Copula macht anscheinend zunächst ein nacktes Amöbenstadium durch, um aber offenbar sehr bald die typische *Euglyphen*-schale zu bilden; jedenfalls wurden in entsprechenden Kulturen kleine typisch ausgebildete *Euglyphen* von nur 40–50 μ Länge und 20–30 μ Durchmesser gefunden.

Auch bei der lobosen Thecamöbe *Diffugia* erfolgt nach ZUELZER (1909) die Gamogonie innerhalb von Cysten, die ähnlich wie bei *Euglypha* im Innern der Mutterschale gebildet werden (vgl. S. 162 u. 164). Auch hier handelt es sich nach persönlicher Mitteilung der Verfasserin, deren ausführliche Veröffentlichung noch bevorsteht, um begeißelte (und zwar wie bei Chlamydo-phrys um zweigeißlige) Isogameten. Eine Komplikation gegenüber dem einfacheren Gamogonieverlaufe bei *Euglypha* zeigt sich aber darin, daß innerhalb der vom ganzen Weichkörper der *Diffugia* gebildeten Cyste (Fig. 157, A, S. 162) zunächst noch zahlreiche kleine, ebenfalls kugelige Tochtercysten gebildet werden (vgl. ZUELZER 1904) und daß dann erst innerhalb dieser Tochtercysten die Gameten gebildet werden. Da der Encystierung der *Diffugien* eine plasmatische Verschmelzung zweier Individuen vorausgehen kann, konnte noch an die Möglichkeit gedacht werden, daß es sich vielleicht hierbei um eine ähn-

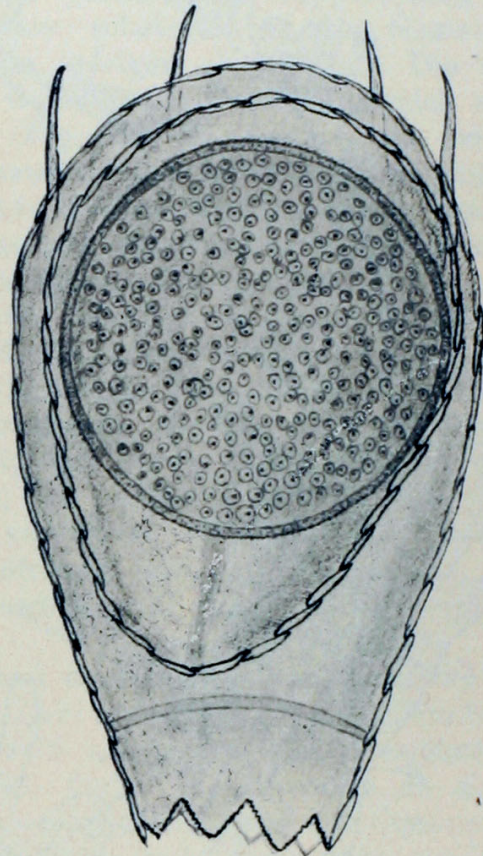


Fig. 385. ***Euglypha alveolata***. 70–82 μ lang, 40–50 μ breit; innere Schale 60–66 μ lang, 36–40 μ breit. Gamogonie nach POPOFF 1912.

liche Sicherung der Amphimixis handele, wie sie bei Gregarinen durch die gemeinsame Encystierung zweier Gametocyten gegeben wird, der ja in einzelnen Fällen (Diplocystis, Diplodina) auch eine Plasmaverschmelzung ohne Beeinflussung der Kerne vorausgeht. ZUELZERS Beobachtung, daß

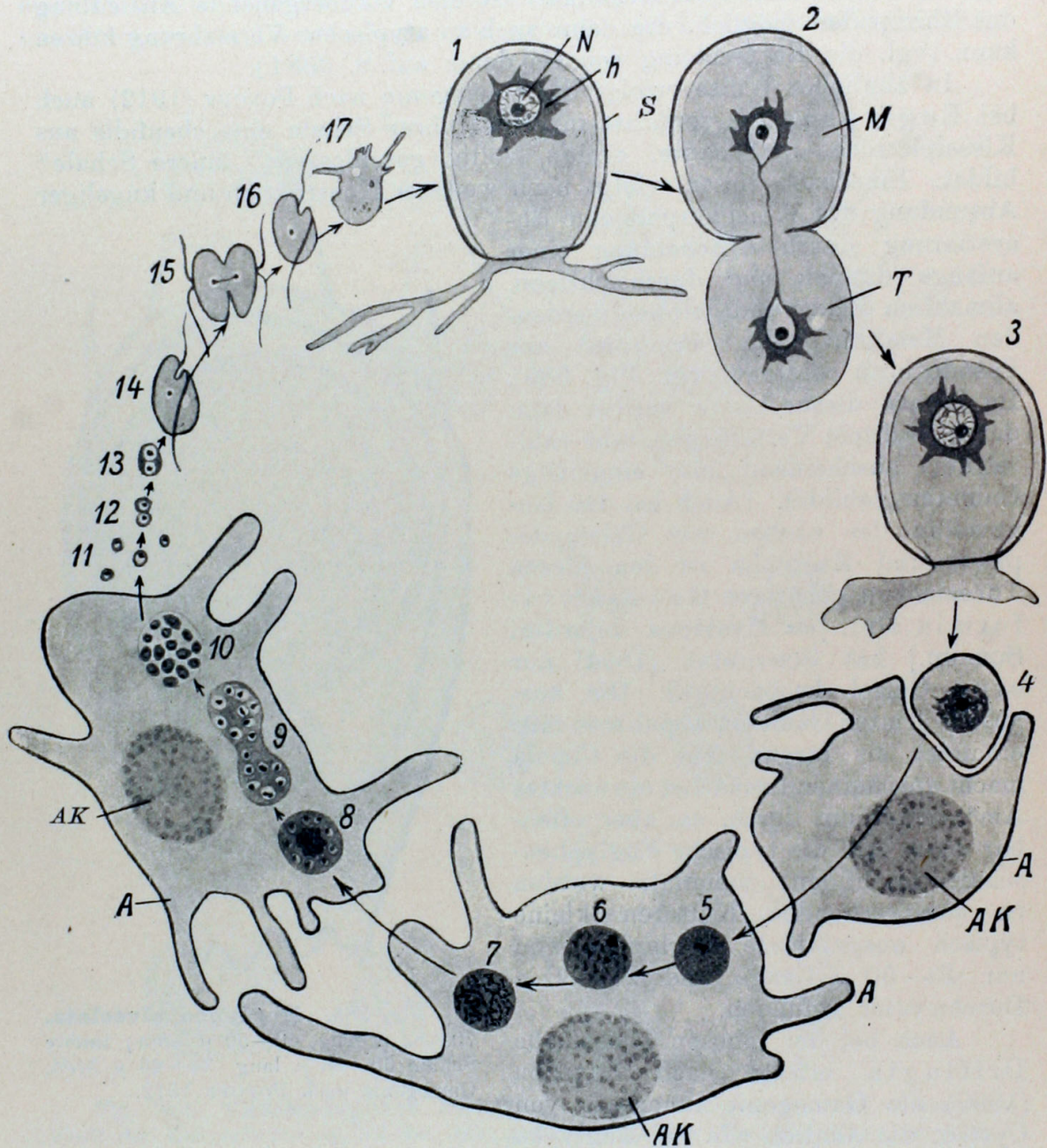


Fig. 386. Zeugungskreis von **Cryptodiffugia** spec. (Thecamöbe des süßen Wassers). 1 Beschaltetes Tier, 2 Knospungsteilung (vgl. S. 334 ff.), 3 bei dieser entstandenes beschaltetes Tochtertier (die Teilung kann sich mehrfach wiederholen), 4 ein nackt gewordenes Tochtertier (Gametocyt) wandert in eine *Amoeba proteus* ein, 5–10 im Innern der Amöbe erfolgende multiple Vermehrung (Gametenbildung): 5–6 Chromidienbildung, 7 Teilungsspindeln der neugebildeten Kerne, 8 vielkerniges Stadium, 9 Plasmotomie des Gametocyten (vgl. S. 378), 10 Zerfall des Gametocyten in die Gameten, 11 aus der Wirtsamöbe ausgetretene Gameten, 12–13 isogame Kopulation, 14 flagellatenförmige Copula, 15 metagame Zweiteilung der Flagellatenform, 16 hierbei entstandenes Tochtertier, 17 dieses ist amöbenförmig geworden und wird nun wieder eine Schale abscheiden (vgl. 1). *A* *Amoeba proteus*, in der die Gametocyten schmarotzen, *AK* Kern dieser Wirtsamöbe, *h* Chromidialnetz in der Umgebung des Kernes der *Cryptodiffugia*, *M* Muttertier (bei der Knospungsteilung), *N* Kern der *Cryptodiffugia*, *S* Schale derselben, *T* Tochtertier (bei der Knospungsteilung). Nach PRANDTL aus DOFLEIN 1911.

aus verschiedenen Cysten stammende Isogameten miteinander kopulieren, schließt aber einen solchen Vergleich aus (vgl. im übrigen über die fragliche plasmatische Verschmelzung der Diffflugien S. 396 ff.).

Sehr eigenartig ist nach PRANDTL (1907) die geschlechtliche Entwicklung eines von ihm selbst anfangs zu *Allogromia*, von DOFLEIN (1911) dagegen zu *Cryptodiffugia* gestellten Sarcodinen. Die ungeschlechtlichen Generationen dieser Art leben frei und bilden eine starre und sehr kräftige, aber völlig strukturlose und durchsichtige Schale (Fig. 386, 1). Zur Zeit einer „geschlechtlichen Epidemie“ verlassen dagegen die Tiere ihre Schale und suchen ein anderes Protozoon auf, innerhalb dessen die Gametenbildung erfolgt (Fig. 386, 4–10). Besonders häufig wird *Amoeba proteus* von dieser parasitischen *Cryptodiffugien*-generation heimgesucht. Ausnahmsweise scheint aber die Gametenbildung auch im freilebenden Zustande erfolgen zu können. Die von einem einzelnen Muttertier gebildeten Gameten sind recht zahlreich und sehr klein. Nach ihrem Freiwerden (Fig. 386, 11) blieben sie „etwa eine Viertelstunde ruhig liegen, dann setzten leise zitternde Bewegungen ein, die schnell stärker wurden. Schon wenige Minuten später konnte ich in dem Geflimmer öfters je 2 Gameten miteinander verkleben und verschmelzen sehen“ (PRANDTL). Nach diesen Bewegungen müssen die Gameten offenbar begeißelt sein, obwohl hierüber — jedenfalls infolge der Kleinheit des Objektes — nichts direkt angegeben wird. Sehr auffällig ist dann aber die (bisher ohne Analogie bei anderen Sarcodinen dastehende) Angabe, daß die sich streckende Copula die Form eines heteromastigoden Flagellaten annimmt, mit einer zarten Haupt- und einer starken Schleppgeißel (Fig. 386, 14). Diese Flagellatenform soll sich sogar noch durch Zweiteilung vermehren (Fig. 386, 15), bevor sie unter Verlust der Geißeln amöbenförmig wird (17), um dann zunächst noch etwas heranzuwachsen und hierauf die Pseudodiffflugien-schale zu bilden.

b) *Trichosphaerium*. Eingehend sind von SCHAUDINN (1899) die Befruchtungsvorgänge von *Trichosphaerium sieboldi* SCHN. studiert worden. Die (von SCHAUDINN seinerzeit als Sporogonie bezeichnete) Gamogonie dieser Art (Fig. 387 u. 388) findet im Gegensatz zu einer anderen keine Gameten liefernden (ungeschlechtlichen) und von SCHAUDINN Schizogonie genannten multiplen Fortpflanzung nicht nur nachts, sondern in beliebiger Tages- oder Nachtzeit statt. Die ersten Anzeichen ihres Bevorstehens äußern sich in der Einziehung der Pseudopodien und in einer Reinigung des Plasmas von allen Fremdkörpern. Gleichzeitig wird der Weichkörper allmählich immer gröber vakuolisiert, und es treten in ihm kleine, stark lichtbrechende Körnchen in großer Menge auf. Die Kerne vermehren sich (immer mitotisch und simultan) überaus lebhaft, werden dabei immer kleiner und erfüllen schließlich den Weichkörper in ungemein großer Zahl; hierbei gruppieren sie sich in einschichtiger Lage um die einzelnen Vakuolen herum, „ein außerordentlich merkwürdiges Bild für ein Protozoon, es erinnert lebhaft an manche Metazoen-gewebe“ (Fig. 388, 1). Der ganze Weichkörper zerfällt hierauf in zahlreiche größere blastulaähnliche Hohlkugeln, die je eine Vakuole umschließen und in ihrer Wandung die genannte einschichtige Kernlage enthalten (Fig. 388, 2). Durch ihren weiteren Zerfall entstehen dann die zweigeißeligen Gameten, deren lange Geißeln innerhalb der Hohlkugeln gebildet werden und durch ihre lebhaften Bewegungen die einzelnen Gameten auseinandertreiben.

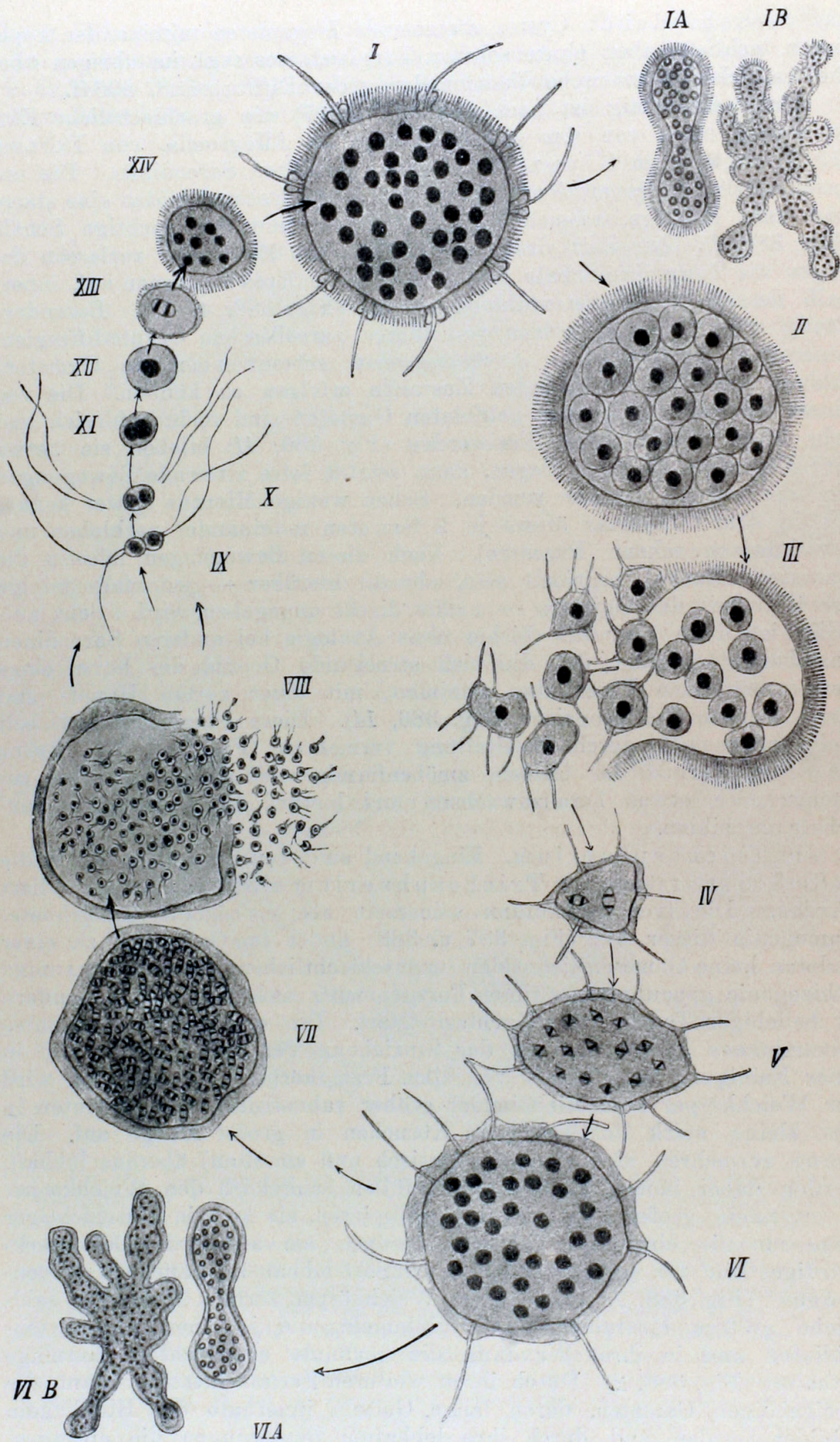


Fig. 387. (Erklärung siehe folgende Seite oben.)

Fig. 387. **Trichosphaerium sieboldi** SCHN. Schematische Darstellung des Zeugungskreises. *I* Ausgebildete vegetative Form, *IA* und *IB* Plasmotomie derselben, und zwar *IA* in Form einer Zweiteilung, *IB* multiple Zerfallteilung, *II* Vielteilung, *III* Auswanderung der Sprößlinge aus der Hülle, *IV* junger Gametocyt, *V* Kernvermehrung im Gametocyt, *VI* ausgewachsener Gametocyt, *VIA* und *VIB* Plasmotomie desselben, und zwar *VIA* in Form einer Zweiteilung, *VIB* multiple Zerfallteilung, *VII* starke Kernvermehrung zur Gamogonie, *VIII* Ausschwärmen der Gameten, *IX—XII* Kopulation, *XIII* Bildung der Stäbchenhülle und erste Kernteilung der Copula, *XIV* durch Wachstum der Copula entstandene junge vegetative Form. Nach SCHAUDINN 1899.

Die ausgebildeten Gameten (Fig. 388, 3) sind kugelig oder oval und ziemlich groß (bis 8 μ Durchmesser). Ihr ziemlich stark lichtbrechendes Plasma enthält außer dem Kern eine Anzahl glänzender Körnchen und stets eine größere, nicht pulsierende Vakuole. Die beiden gleich langen Geißeln befinden sich an dem bei der Bewegung nach hinten gerichteten Ende, das häufig in eine kleine Spitze ausgezogen ist. Mit ihrer Hilfe führen die Gameten lebhafte drehende und kugelnnde, ziemlich ungeschickte Bewegungen aus und schwärmen sie schließlich nach Durchbruch der Gallerthülle aus.

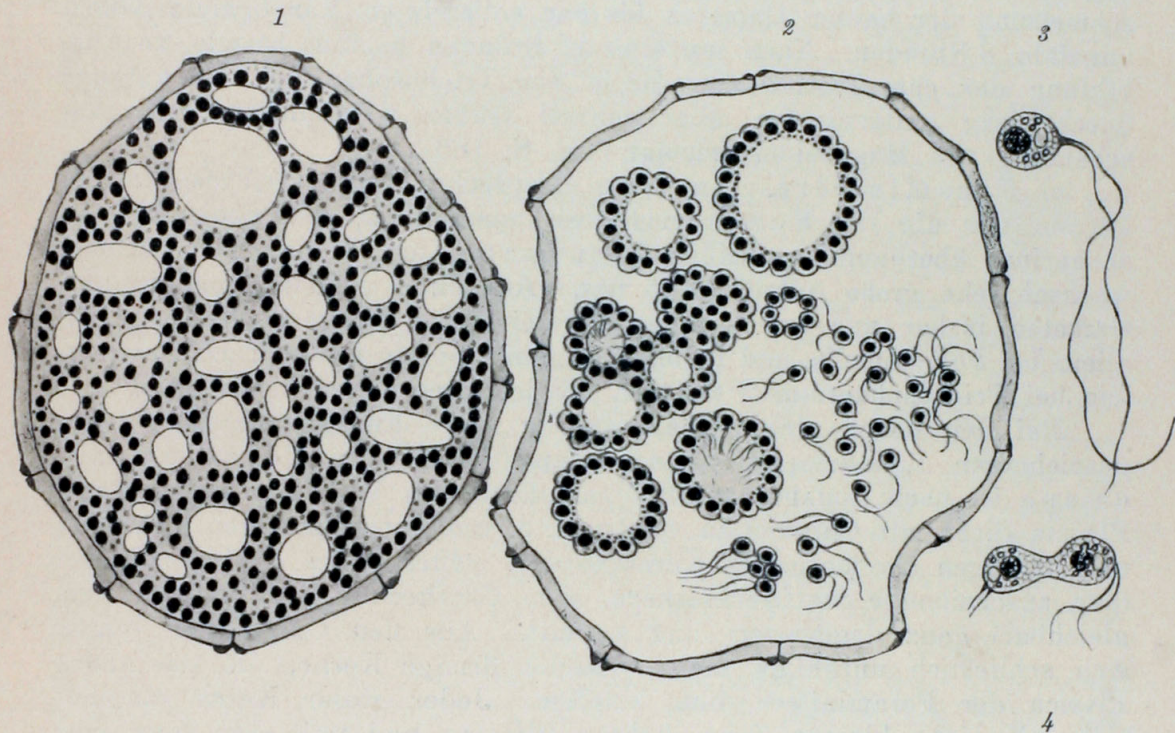


Fig. 388. **Trichosphaerium sieboldi** SCHN. Gamogonie. 1 Schnitt durch einen Gametocyt, kurz vor dem Zerfall in Gameten. 2 Schnitt durch einen Gametocyt, der im Begriff ist, in die Gameten zu zerfallen. 3 Ein einzelner Gamet, wesentlich stärker vergrößert. 4 Ein Kopulationsstadium (die Geißeln der beiden verschmolzenen Gameten schon fast ganz rückgebildet). Nach SCHAUDINN 1899.

Alle Gameten, die nicht zur Kopulation gelangen, gehen bald zugrunde, und dies ist die Mehrzahl, da niemals die von demselben Mutterindividuum gebildeten Gameten miteinander kopulieren und man zwei gleichzeitig sich vermehrende Gametocyten nur selten dicht nebeneinander findet.

Bei der Kopulation (Fig. 388, 4) verschmelzen die Gameten zuerst mit ihren Vorderenden, d. h. also im Gegensatz zu Chlamydomyces mit ihren geißellosen Enden, die bei der Annäherung der Gameten aneinander

häufig in Spitzen ausgezogen sind. Häufig scheinen die Gameten „vor dem Verschmelzen gewissermaßen miteinander zu spielen; sie nähern sich, stoßen aneinander, stoßen sich wieder ab, drehen sich mehrmals umeinander, um dann erst zusammenzukleben. In anderen Fällen konnte ich allerdings auch beobachten, daß zwei Sporen von entgegengesetzten Seiten mit beschleunigter Geschwindigkeit direkt aufeinander zu kugelten und sofort verklebt waren. Nachdem die vereinigten Sporen kurze Zeit ungeschickt umhergerollt sind, werden die schlängelnden Bewegungen ihrer Geißeln langsamer, bis dieselben plötzlich abgebrochen werden; fast gleichzeitig lösen sich alle 4 Geißeln von der Copula, führen noch einige Bewegungen aus und zerfallen dann in eine Körnchenreihe. In der Copula sind Kerne auch im Leben recht gut zu erkennen. Dieselben nähern sich beim weiteren Fortschreiten der Verschmelzung, legen sich schließlich aneinander und verschmelzen vollständig.“ Irgendwelche Kernveränderungen, welche eine Andeutung für Reduktionsvorgänge bieten könnten, hat SCHAUDINN trotz sorgfältiger Untersuchung niemals entdecken können. Die Copula wächst alsbald unter Kernvermehrung heran. Die Kopulation erfolgt sehr langsam; der ganze Prozeß vom Beginn der Verschmelzung der beiden Gameten bis zur vollendeten Karyogamie dauert ungefähr 6 Stunden. Nach weiteren 12 Stunden beginnt bereits die Ausbildung der charakteristischen Hülle von *Trichosphaerium*, die anfangs durchsichtig gallertig ist, aber schnell trüber wird infolge der Abscheidung von Magnesiumkarbonat (vgl. S. 183).

c) Foraminifera. An diese Besprechung von *Trichosphaerium* können wir die der Foraminiferen anschließen, mit denen *Trichosphaerium* überhaupt in seiner Fortpflanzung und seinem Generationswechsel sehr große Ähnlichkeit hat. Allerdings sind Gamogonie und Gameten bisher nur bei wenigen Foraminiferen direkt beobachtet, vor allem bei *Polystomella* und *Peneroplis*. Bei ersterer besitzen die Gameten wie bei *Trichosphaerium* 2 Geißeln, bei letzterer dagegen nur eine.

Bei den durch eine verhältnismäßig große Embryonalkammer ausgezeichneten („makrosphärischen“) Gametocyten von *Polystomella crispa* ist nach SCHAUDINN (1903) am Ende des Wachstums das ganze Plasma dicht mit Chromidien erfüllt, d. h. mit unregelmäßigen Körnchen und Strängen chromatischer Kernsubstanz, während der „Prinzipalkern“ (der anscheinende Stoffwechselkern, dem Großkern der Infusorien vergleichbar) ganz degeneriert und zerfällt. Aus den Chromidien bilden sich schließlich unzählige kleine bläschenförmige Kerne, die das ganze Plasma der Foraminifere dicht erfüllen. Jeder dieser Kerne umgibt sich mit einer kleinen Zone dichten Plasmas und teilt sich dann sehr schnell zweimal auf mitotische Weise, so daß also die aus dem Chromidium gebildeten Sekundärkerne auf je 4 vermehrt werden. Die so entstandenen Kerne sind die Gametenkerne; jenen Kernteilungen folgt alsbald eine der Kernzahl entsprechende multiple Teilung des Plasmas. Die zweigeißeligen Gameten zeigen eine ähnliche wackelnde Bewegung wie bei *Gromia* und *Trichosphaerium*. Die Kopulation erfolgt auch hier wieder nur zwischen Gameten, die von verschiedenen Mutterindividuen abstammen, und entspricht auch im übrigen derjenigen von *Trichosphaerium* (Abwurf der Geißeln; langsamer, 5—6 Stunden in Anspruch nehmender Verlauf). Ihr folgt bald eine direkte Teilung des Kernes der Copula und der Beginn des Wachstums der jungen, allmählich vielkernig werdenden „mikrosphärischen“ Foraminifere unter Ausbildung der Schale, deren Embryonalkammer entsprechend der Kleinheit der Gameten natürlich nur sehr klein ist.

Der makrosphärische Gametocyt von *Peneroplis pertusus* (vgl. Fig. 359) ist nach WINTER (1907) reif zur Gamogonie, wenn er 23 bis 27 Kammern gebildet hat. Seine Kernverhältnisse entsprechen denen von *Polystomella*; nur sind die aus dem Chromidium entstehenden, sich zunächst noch (wahrscheinlich zweimal) mitotisch teilenden Kerne nicht im ganzen Plasma verteilt, sondern vielmehr auf die letzten Kammern (von der 14.—15. ab) beschränkt (dasselbe gilt übrigens auch für *Miliola* und *Vertebralina*). Die Gametenbildung erfolgt nur in oder vor der letzten Kammer. Ihr geht eine energische Defäkation voraus, der zunächst noch eine gewissermaßen regenerative, längere Ruhepause folgt. Das dann folgende Austreten der Gameten wird durch heftige Plasmaströmung eingeleitet. Das Plasma von Exemplaren, die auf diesem Stadium durch Zerquetschung der Schale genauerer Untersuchung zugänglich gemacht sind, „schleudert mit großer Gewalt peitschenartig hin und her schlagende Pseudopodien aus, aus denen sich bläschenförmige Kerne, mit Plasma umgeben, abschütteln, wobei sich zugleich die Geißel unter vibrierender Bewegung aus dem den Kern umgebenden Plasma heraushebt.“ Dieser Vorgang der Gametenentsendung dauert ca. 10 Stunden, man findet aber gelegentlich noch 3 Tage nach dem Beginn der Gamogonie Gameten an den Mündungsporen des *Peneroplis* herumwackeln. Die nur etwa 1 μ im Durchmesser haltenden Gameten (Isogameten) besitzen im Gegensatz zu denen von *Polystomella* nur eine Geißel, die ca. 2 μ lang ist und stumpf, wie abgeschnitten, endigt. (Auch bei *Miliola* sind nach WINTER die Gameten eingeißlig.) Ihre Bewegung ist eine schlagende, wobei die Geißel S-förmige Krümmungen macht, was jedoch so schnell geschieht, daß eine tanzende, wackelnde Vorwärtsbewegung sich ergibt. Vor der Kopulation, die auch hier wieder nur zwischen Gameten verschiedener Abstammung erfolgt, „umgaukeln sich die Schwärmer eine Zeitlang, 15—20 Minuten, ziehen sich an und stoßen sich wieder ab, dabei sind sie in so vibrierender Bewegung, daß man sie kaum sieht, dann plötzlich fahren sie gegeneinander, bleiben haften, noch eine Zeit sind sie in zitternder Bewegung, dann hört dieselbe auf, wobei zugleich die starke Lichtbrechung des Kernes mir an Intensität nachzulassen schien.“ Wie bei *Trichosphaerium* und *Polystomella* geht die an den geißellosen Enden beginnende Verschmelzung beider Gameten sehr langsam vor sich. Der bei der Gametenbildung nicht aufgebrauchte Rest des mütterlichen Plasmakörpers stirbt bald ab und zerfällt.

d) *Radiolaria*. Die Befruchtungsvorgänge bei den Radiolarien sind erst sehr unvollkommen bekannt, und die Befruchtung selbst, die offenbar stets eine Merogonie ist, ist noch nie beobachtet. Nur Vermehrungsvorgänge sind bekannt, die als Gamogonie aufgefaßt werden müssen und die — die Richtigkeit dieser Auffassung vorausgesetzt — zur Entstehung sexuell dimorpher begeißelter Gameten führen, und auch solche kennt man nur von wenigen Formen: koloniebildenden *Polycyttarien* (BRANDT 1885, HARTMANN und HAMMER 1909; vgl. Fig. 108, D und E auf S. 89), *Thalassicolla* (BRANDT 1890, 1905, MOROFF 1910, HUTH 1913), einzelnen *Tripylarien* (*Aulacantha scolymantha*, vgl. S. 87 ff., und *Aulocleptes ramosus* nach SCHRÖDER 1913).

Bemerkenswert und von anderen Protozoen mit Anisomerogamie abweichend ist, daß vielfach beide Gametenformen vom gleichen Mutterindividuum gebildet werden, der Gametocyt demnach als zwittrig aufgefaßt werden muß. Dies ist vor allem bei Collozoen (Fig. 389) und Sphärozoen der Fall, und zwar wurde hierbei speziell für Collozoon

innerme von BRANDT und HARTMANN festgestellt, daß die Mikrogameten erst wesentlich später völlig reif werden als die Makrogameten¹⁾, so daß durch diese protogyne Entwicklung offenbar eine endogame Befruchtung verhindert oder doch zum mindesten erschwert wird. Bei Aulacantha werden dagegen Makro- und Mikrogameten, deren Entwicklung freilich noch nicht bis zum Ende verfolgt werden konnte, von verschiedenen Individuen gebildet (vgl. S. 87 ff.), und das gleiche scheint

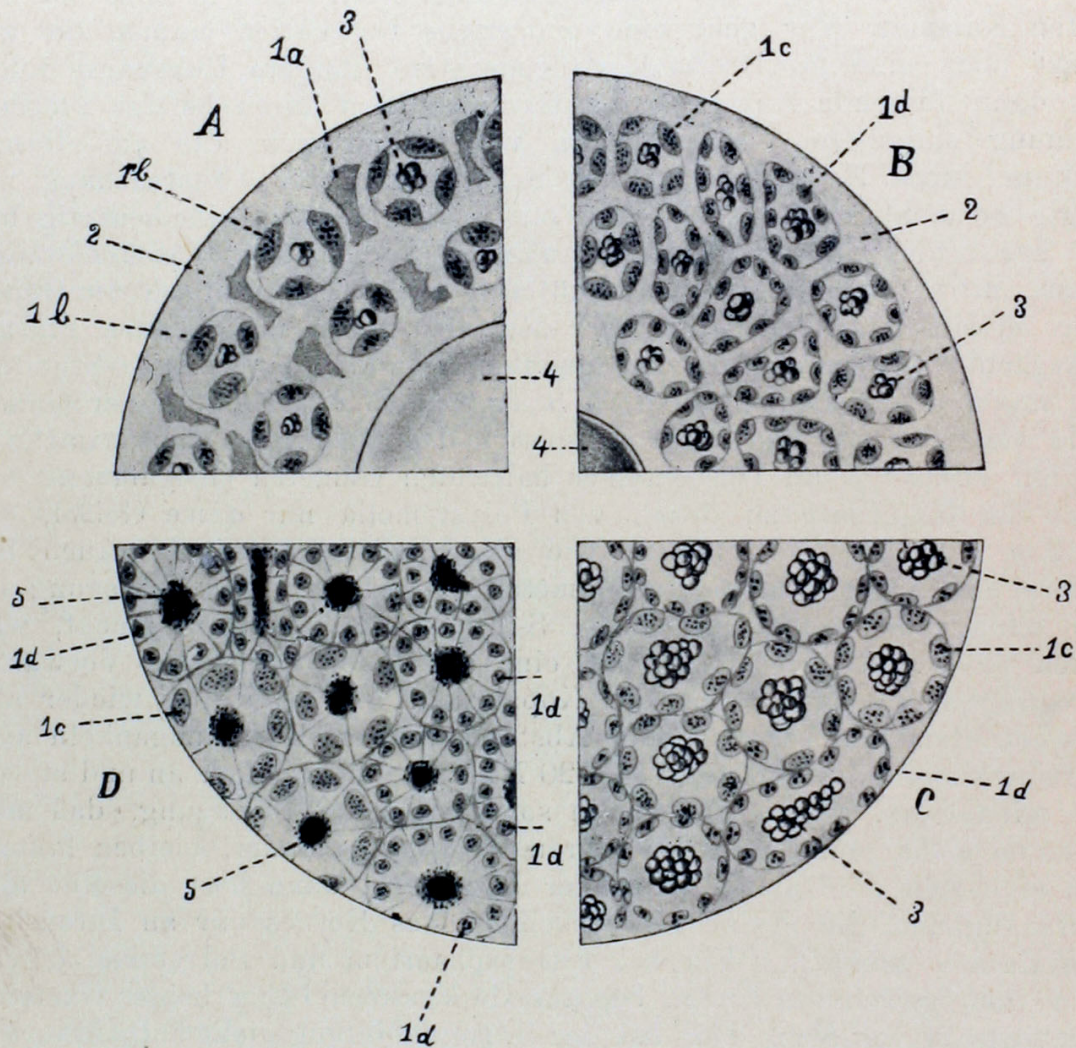


Fig. 389. *Collozoum inerme* MÜLL. A, B, C, D 4 Quadranten von Zentralkapseln in verschiedenen Stadien der **Anisogametenbildung**. Schematisch. 1 Kerne, und zwar 1a unregelmäßige homogene somatische Kerne der schaumigen Zwischensubstanz (in den späteren Stadien nicht mehr nachweisbar), 1b Kerne kugeliger, speziell differenzierter Protoplasmaklumpen, aus denen die Gameten hervorgehen, 1c größere Kerne der späteren Makrogameten, 1d kleinere Kerne der späteren Mikrogameten, 2 Zwischensubstanz von stark schaumigem Protoplasma, in das die gametenbildenden kugeligen Protoplasmaklumpen eingelagert sind, 3 Fettträubchen im Zentrum jedes dieser kugeligen Protoplasmaklumpen, 4 zentrale Oelkugel der Zentralkapsel, die im Laufe der Gamonie völlig aufgebraucht wird, 5 körnig zerfallene Fettträubchen. Nach BRANDT 1885.

auch bei Collosphaera und Thalassicolla die Regel zu sein, wenngleich von BRANDT (1905) 2 Thalassicollen gefunden wurden, die beim Aufplatzen der Zentralkapsel beide Gametenformen in einem Mutterindividuum

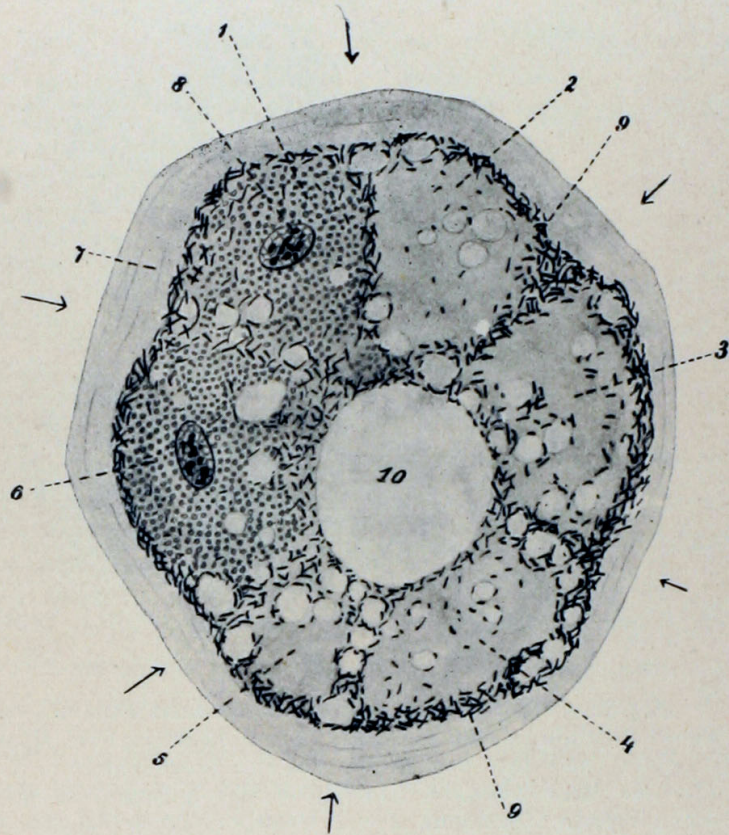
1) Nach HARTMANN und HAMMER sind die Kernteilungen in den Makrogametenanlagen meist schon völlig abgelaufen, während die Kerne der künftigen Mikrogametenanlagen noch das Aussehen vegetativer Kerne aufweisen.

vereint aufwiesen (Näheres über diese ganzen Entwicklungsvorgänge, vor allem cytologische Einzelheiten, siehe namentlich bei HUTH 1913).

Auf Grund einzelner Beobachtungen an *Aulocleptes* vermutet SCHRÖDER, daß Tripylarien mit 2 Zentralkapseln vor Beginn der zur Gametenbildung führenden Vielteilung sich zunächst plasmotom in zwei einkapselige Tiere teilen.

Den Verlauf der Befruchtung speziell bei *Thalassicolla* stellt sich HUTH folgendermaßen vor: Das durch den Zerfall des Extracapsulums bedingte rasche Sinken der in Gamogonie befindlichen Individuen führt diese, wie im Zuchtglase bis auf dessen Boden, so auch im Meere bis auf den Grund. Die dort ankommenden, Makrogameten bildenden Kapseln platzen, und die dergestalt entleerten Makrogameten breiten sich aus, wie sie dies am Boden des Zuchtglases in weißer, breiiger Masse tun, ohne

Fig. 390. **Actinosphaerium eichhorni** EHRBG. Encystierung und Gamogonie, frühes Stadium. Die Muttercyste ist im Begriff, sich in Tochtercysten zu teilen. 1—6 die Plasmakörper der entstehenden Tochtercysten, 7 Gallerthülle der Muttercyste, 8 Kern der Tochtercyste 1, 9 von zahlreichen kleinen Kieselnadeln gebildete Kieselhülle, 10 große zentrale Vakuole, durch Zusammenfließen mehrerer kleinerer entstanden. Die Pfeile geben die Richtung an, in der die (durch Ansammlung von Kieselnadeln vorbereitete) Zerklüftung der Muttercyste in die Tochtercysten erfolgen wird. Die Plasmaeinschlüsse und Kerne sind nur bei den Tochtercysten 1 und 6 gezeichnet. Vergr. 392 : 1. Nach BRAUER 1894.



von ihrer Eigenbewegung einen weiter reichenden Gebrauch zu machen. Die später sinkenden, Mikrogameten bildenden Kapseln entleeren dann „ihren Inhalt über den am Boden liegenden Makrogametenbrei, gleich dem Fischesperma, das sich über den am Boden ruhenden Laich ergießt“.

e) Heliozoen. Eine Isomerogamie findet sich bei dem großen vielkernigen Heliozoon *Actinosphaerium eichhorni*, bei dem HERTWIG (1898) die Befruchtungsvorgänge eingehend untersucht hat. Von den bisher betrachteten sind sie freilich insofern ganz abweichend, als es sich um strengste Inzucht handelt, um eine innerhalb einer Cyste erfolgende Endogamie ersten Grades, bei der also die Gameten direkt Geschwisterkinder sind.

Die Befruchtungserscheinungen von *Actinosphaerium* werden eingeleitet durch eine Encystierung. Das Tier setzt sich fest, zieht seine Axopodien ein, löst deren Achsenfäden auf, stößt etwa vorhandene

Nahrungsballen aus und umgibt sich, je nach der Gestalt seines eigenen Plasmaleibes, mit einer bald ovoiden, bald kugeligen dicken Gallerthülle. Die Vakuolen bilden sich hierbei fast vollständig zurück, so daß der Unterschied zwischen Rinden- und Marksubstanz schwindet und der ganze Körper kleiner wird; gleichzeitig wird das Plasma infolge der Entwicklung kleiner, ovaler, an Dotterplättchen erinnernder Körperchen und unregelmäßiger Kieselstückchen undurchsichtig. In den so gebildeten „Muttercysten“ tritt dann eine auffallende Reduktion in der Zahl der Kerne ein, die so weit geht, daß von den ursprünglich vorhandenen Kernen (deren Anzahl je nach der Größe des Tieres zwischen

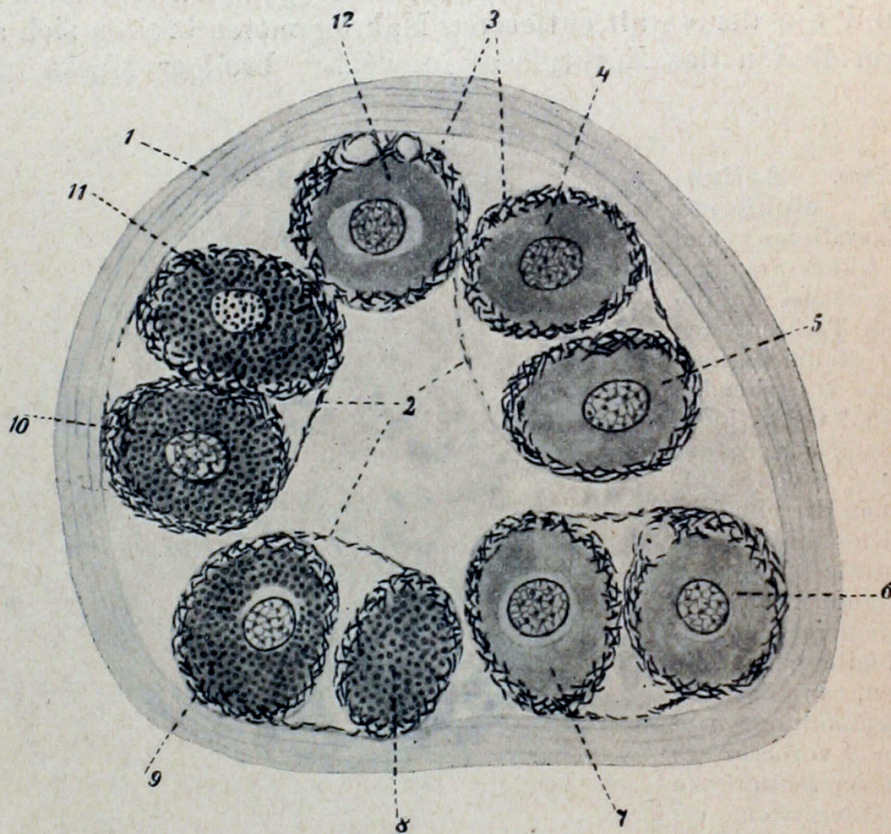


Fig. 391. *Actinosphaerium eichhorni* EHRBG. Encystierung und Gamogonie, späteres Stadium als in Fig. 390. Die Zerklüftung der Muttercyste in die Tochtercysten ist erfolgt, und jede von diesen hat sich noch wieder in 2 Gameten geteilt. 1 Gallert-hülle der Muttercyste, 2 Kieselhülle der primären Tochtercysten, 3 Kieselhülle der Sekundär-cysten (Gameten), 4—12 Gameten, paarweise aus je einer Tochtercyste durch Teilung hervorgegangen und auch selbst noch wieder von einer eigenen Kieselhülle eng umschlossen. Der zu 12 gehörende Schwestergamet ist nicht sichtbar, weil nicht in die Schnittebene des Präparates fallend. Die Plasmaeinschlüsse sind nur bei 4 Gameten gezeichnet. Vergr. 392:1. Nach BRAUER 1894.

ca. 20 im Minimum und ca. 500 im Maximum variiert) nur noch etwa 5 Proz. übrig bleiben. Die Art und Weise, wie diese Reduktion erfolgt, ist noch nicht ganz klargestellt, doch hält HERTWIG es für wahrscheinlich, daß am Anfang der Encystierung die Kerne paarweise verschmelzen und daß hierauf die meisten von ihnen resorbiert werden. Alsdann zerfällt jedenfalls der Plasmakörper in so viele Teilstücke („Primär-cysten“), als Kerne übrig geblieben waren (Fig. 390). Bei kleineren Tieren kann dieser Zerfall in Teilstücke auch unterbleiben, indem das ganze Tier, bei dem alle Kerne bis auf einen einzigen resorbiert wurden, zu einer einzigen einkernigen Primär-cyste wird. Große Exemplare können bis zu 20, vielleicht auch noch mehr Primär-

Neuerscheinung
aus dem Verlag von **Gustav Fischer in Jena.**

Mazedonien.

Erlebnisse und Beobachtungen eines Naturforschers
im Gefolge des deutschen Heeres.

Von

Dr. Franz Doflein

o. ö. Professor der Zoologie an der Universität Breslau.

Mit 270 Abbildungen im Text und 4 farbigen und 12 schwarzen Tafeln.

VIII, 592 S. 8°. Preis: Mk 105.—, geb. Mk 120.—

Das Buch enthält Erlebnisse und Forschungen eines Zoologen, welcher während des Weltkrieges im Gefolge des deutschen Heeres in Mazedonien arbeitete. Es bringt Beiträge zur Erforschung des vor dem Kriege wissenschaftlich fast unbekannten Landes.

In dem Buch wird eine Schilderung der Landschaft in den verschiedenen Gegenden Mazedoniens gegeben. Expeditionen in die Alpen Mazedoniens werden beschrieben; besondere Kapitel bringen Untersuchungen über die Seen, aus den Darstellungen ergeben sich Schlüsse auf die Kräfte, welche die Oberflächengestaltung des Landes bedingen. Es schließen sich Schilderungen der Gewohnheiten der vielen Völker an, welche das Land bewohnen, ihrer Wohnstätten, ihrer Trachten und Sitten. Die malerischen Städte und Dörfer des Landes, der Ackerbau und seine Bedingungen, Handel und Wandel und Gewerbe finden ihre Darstellung.

In besonderen Kapiteln wird die eigenartige Tier- und Pflanzenwelt des Landes geschildert. Das Buch gibt also **ein Gesamtbild des Landes**, seines Aufbaus, seiner Natur, seiner Siedlungen und Bevölkerung.

Die Kriegssereignisse spielen in dem Buch nur insofern eine Rolle, als von den Leistungen unserer Truppen bei der Überwindung der Schwierigkeiten, welche die Natur des Landes mit sich brachte, die Rede ist.

Hervorragendes Geschenkwerk.

28

Neuerscheinungen

aus dem Verlag von Gustav Fischer in Jena.

Lehrbuch der Paläozoologie. Von **O. Abel**, o. ö. Professor der Paläobiologie an der Universität Wien. Mit 700 Abbild. im Text. (XVI, 500 S. gr. 8°.) 1920. Mk 40.—, geb. Mk 49.—

Die Paläozoologie bildet die Brücke zwischen zwei Forschungsgebieten, der Zoologie und der Geologie; ein Lehrbuch dieser Wissenschaft muß daher trachten, den Bedürfnissen der Studierenden beider Gebiete entgegenzukommen. Das kann nur geschehen, wenn ein solches Lehrbuch weder als ein Bestimmungsbuch, noch als ein Fossilienkatalog gedacht ist, sondern einerseits die stammesgeschichtliche und andererseits die erdgeschichtliche Bedeutung der fossilen Tiere berücksichtigt. Für den Zoologen sowohl wie für den Geologen ist es ferner von größter Wichtigkeit, die Beziehungen zwischen Tier- und Umwelt kennen zu lernen, da nur auf diesem Wege ein Einblick in die treibenden Ursachen der Umformung und Entwicklung der Lebewesen im Laufe der Erdgeschichte gewonnen werden kann.

Diesen Grundsätzen sucht das neue Lehrbuch des Wiener Paläobiologen gerecht zu werden. Gruppen, die für den Geologen keine besondere Wichtigkeit haben, wie die Insekten, und die auch in stammesgeschichtlicher Hinsicht nicht besonders wichtig sind, wie die Korallen oder die Gastropoden, konnten daher kürzer behandelt werden als die übrigen Gruppen der fossilen Tiere. Da der Anfänger nicht in der Lage zu sein pflegt, das Wichtige vom Unwichtigen zu scheiden, ist bei der Auswahl der eingehender besprochenen Formen überall darauf Bedacht genommen worden, die stammesgeschichtlich und erdgeschichtlich wichtigen Gattungen und Arten eingehender zu besprechen und andere, unwichtigere, zu vernachlässigen.

Die Darstellung wird durch vorzügliche und sorgfältig ausgewählte Abbildungen in reichem Maße unterstützt; besonders hervorzuheben ist die große Zahl der vom Verfasser gezeichneten Rekonstruktionen und der Originalaufnahmen.

Die Vervollkommnung in der lebenden Natur. Eine Studie über ein Naturgesetz. Von Dr. **Victor Franz**, Prof. der phylogenetischen Zoologie an der Universität Jena. (VI, 138 S. gr. 8°.) 1920. Mk 15.—

Wenn auch kein Entwicklungsgeschehen im ziellosen Naturverlaufe an sich Vervollkommnung sein kann, weist der Verfasser doch klar auf, was die Anwendung jenes den menschlichen Wertungen entnommenen Ausdruckes in der Stammesgeschichte nahelegt: es ist die häufige Zunahme an Differenzierung und Zentralisation der Gestalt und zugleich an Uebergewicht über die Mitbewerber im gleichen Lebensraum. An allen menschlichen Schöpfungen bedeutet ja gerade diese Entwicklung uns wirklich so viel wie Vervollkommnung, und sie ist die häufigste in der Natur. Wo jedoch Zentralisation ausbleibt, werden die Gestalten nicht schöner, sondern unausgeglichen, und die Lebensmöglichkeiten nicht erweitert, sondern eingeengt. Somit ist die von der Gegenwart zu wenig betonte Zentralisation der Kernpunkt des „Goethe-Haeckel'schen Vervollkommnungsgedankens“ und zugleich das, worin wir gut tun, der Natur auf ihrem Entwicklungswege zu folgen. Dies führt auch zur Betonung von Gehirnleistung, Geisteswert und Verinnerlichung, wodurch der zum Wirken in Haeckels Sinne berufene und auf psychologischem Gebiet psychomomistisch orientierte Verfasser den vollen Ausgleich von Naturalismus und Idealismus finden kann. Ein allseitiges Verstehen möge dieser um Naturalismus und Vertiefung bemühten Studie beschert sein, die übrigens mit einem Abriß aus der bewegten Forschungsgeschichte beginnt, bevor sie in die ebendige Darstellung des naturgeschichtlichen Tatsachenmaterials eintritt.

Beiträge zur vergleichenden Anatomie der Nephridien niederer Oligochäten. Von Dr. **Yvonne Boveri-Boner**, Baden (Aargau). Mit 6 Abbildungen im Text und 3 Tafeln. (52 S. gr. 8°.) 1920. Mk 8.—

Vorliegende Untersuchung zerfällt in zwei Teile, deren erster allgemeiner die beste bekannte Oligochätenliteratur, der zweite Teil die speziellen Untersuchungen umfaßt. Entsprechend der gegebenen Literatureinteilung gliedert sich die Betrachtung in die Morphologie, die Physiologie, die Entwicklung und die Homologie der Nephridien. Der zweite Teil behandelt das Material, die Technik und die Untersuchungen, an die sich eine kurze Zusammenfassung der wichtigen Resultate anschließt.

Handbuch der Entomologie. Hrsg. von Prof. Dr. **Chr. Schröder**, Berlin-Lichterfelde. **Lieferung 5:** Bd. III (S. 113—208). Kap. 6—7. 1920. Mk 12.— Früher erschien Lieferung 1—4, enthaltend:

Bd. I (S. 1—528). Kap. 1—7. — Bd. III (S. 1—112). Kap. 1—6.

Preis für Lieferung 1—4: je Mk 5.— (+ 200% Teuerungszuschlag)

2,1

Tr
3612

Tr 361²

- 2,1 -

Tr361-2,1+2



T+R361-2/L1/K2

HANDBUCH DER MORPHOLOGIE DER WIRBELLOSEN TIERE

BEARBEITET VON

Dr. CARL BÖRNER, St. Julien bei Metz; Prof. E. BUGNION, Blonay
s. Vevey; Dr. MARIE DAIBER, Zürich; Prof. W. GIESBRECHT, Neapel;
Prof. VALENTIN HAECKER, Halle a. S.; Prof. KARL HESCHELER, Zürich;
Prof. ARNOLD LANG, Zürich; Prof. M. LÜHE, Königsberg; Prof. O. MAAS,
München; Dr. S. TSCHULOK, Zürich und Dr. J. WILHELMI, Steglitz-Berlin

HERAUSGEGEBEN VON

ARNOLD LANG
ZÜRICH

ZWEITE BEZW. DRITTE AUFLAGE
VON ARNOLD LANG'S LEHRBUCH DER VERGLEICHENDEN
ANATOMIE DER WIRBELLOSEN TIERE

ZWEITER BAND. ERSTE LIEFERUNG

MIT 90 ABBILDUNGEN IM TEXT

[mehr nicht ersch.]



JENA
VERLAG VON GUSTAV FISCHER
1912

Von Professor Dr. Arnold Lang (Zürich) erschien ferner:

Mittel und Wege phylogenetischer Erkenntnis. Erste öffentliche Rede, gehalten am 27. Mai 1887 in der Aula der Universität zu Jena, entsprechend den Bestimmungen der Paul von Ritterschen Stiftung für phylogenetische Zoologie. 1887. Preis: 1 Mark 50 Pf.

Zur Charakteristik der Forschungswege von Lamarck und Darwin. Gemeinverständlicher Vortrag, gehalten am 29. Juni 1889 in der Aula der Universität zu Jena, entsprechend den Bestimmungen der Paul von Ritterschen Stiftung für phylogenetische Zoologie. 1889. Preis: 60 Pf.

Ueber den Einfluß der festsitzenden Lebensweise auf die Tiere und über den Ursprung der ungeschlechtlichen Fortpflanzung durch Teilung und Knospung. 1888. Preis: 3 Mark.

Beiträge zu einer Trophocöltheorie. Betrachtungen und Suggestionen über die phylogenetische Ableitung der Blut- und Lymphbehälter, insbesondere der Articulaten. Mit einem einleitenden Abschnitt über die Abstammung der Anneliden. (Abdruck aus der „Jenaischen Zeitschrift für Naturwissenschaft“. Bd. XXXVIII. N. F. Bd. XXXI.) Mit 6 Tafeln und 4 Textfiguren. 1903. Preis: 16 Mark.

Ueber Vorversuche zu Untersuchungen über die Varietätenbildung von *Helix hortensis* Müller und *Helix nemoralis* L. (Abdr. a. d. Festschrift zum siebzigsten Geburtstage von Ernst Haeckel, herausgegeben von seinen Schülern und Freunden. 1904. gr. 4^o. Preis: 6 Mark.

Ueber die Bastarde von *Helix Hortensis* Müller und *Helix Nemoralis* L. Eine Untersuchung zur experimentellen Vererbungslehre. Mit Beiträgen von Prof. Dr. H. Bosshard, Paul Hesse in Venedig und Elisabeth Kleiner in Zürich. Mit 4 lithographischen Tafeln. 1908. Preis: 15 Mark.

Von Professor Dr. Valentin Haecker (Halle) erschien:

Bastardierung und Geschlechtszellenbildung. (Abdruck aus der Festschrift zum siebzigsten Geburtstage von August Weismann. Suppl. VII der Zoolog. Jahrb.) 1904. Preis: 4 Mark.

Ueber das Schicksal der elterlichen und großelterlichen Kernanteile. Morphologische Beiträge zum Ausbau der Vererbungslehre. (Abdruck aus der „Jenaischen Zeitschrift für Naturwissenschaft“, XXXVII Bd., N. F. XXX. Bd.) Mit 4 Tafeln und 16 Textfiguren. 1902. Preis: 4 Mark.

Der Gesang der Vögel, seine anatomischen und biologischen Grundlagen. Mit 13 Textabbildungen. 1900. Preis: 3 Mark.

Praxis und Theorie der Zellen- und Befruchtungslehre. Mit 157 Abbildungen im Text. 1899. Preis: 7 Mark, geb. 8 Mark.

Tiefsee-Radiolarien.

Spezieller Teil: Die Tripyleen, Collodarien, und Mikroradiolarien der Tiefsee. Mit 85 Tafeln und 102 Abbildungen. 1908. (476 S. (1—476) und 85 Bl. Tafelerklärungen. gr. 4^o. Preis: 215 Mark.

Allgemeiner Teil: Form- und Formbildung bei den Radiolarien. (Wissenschaftliche Ergebnisse der Deutschen Tiefsee-Expedition auf dem Dampfer „Valdivia“ 1898—1899. Im Auftrage des Reichsamtes des Innern, herausg. von Carl Chun, Prof. d. Zool. in Leipzig, Leiter der Expedition. Band XIV, Lfg. 1, 2, 3.) Mit 2 Tafeln, 2 Karten und 123 Abbildungen. 1908. (230 S. (477—706) und 2 Blatt Tafelerklärungen.) gr. 4^o. Preis: 25 Mark.

1925.2528



Vorwort des Herausgebers.

Auf die Diener der Wissenschaft paßt noch mehr als auf hungrige Kinder die französische Redensart, „les yeux plus gros que la bouche“. Und es ist sogar eine ganz allgemein zu beobachtende Tatsache, daß beim Gelehrten mit dem Alter sowohl der wissenschaftliche Appetit als die Unternehmungslust zunehmen, freilich gewöhnlich im umgekehrten Verhältnis zu der Fähigkeit, die wachsenden Begierden zu befriedigen. So erging und ergeht es dem Herausgeber. Die Vollendung der zweiten Auflage seines Lehrbuches der vergleichenden Anatomie, das eine so wohlwollende Aufnahme fand, hat sich trotz der eifrigen und vortrefflichen Mitarbeit seines lieben Kollegen Prof. HESCHELER stark verzögert. An dieser Verzögerung sind verschiedene Ursachen schuld. Der Herausgeber brachte es nicht über sich, seine experimentellen Vererbungsuntersuchungen, die er zu Anfang der 90er Jahre begonnen hatte und die inzwischen immer größere Dimensionen angenommen hatten, aufzugeben. Sodann wurde seine Zeit, ganz abgesehen von den Pflichten des Lehramtes und der Museumsleitung, in außerordentlich starker Weise durch Dienstleistungen für die Neubauten der Universität, an der er wirkt, in Anspruch genommen, Verpflichtungen, die ihm als Vorsitzenden der akademischen Baukommission übertragen waren. Und endlich wurde seine Leistungsfähigkeit wiederholt durch Störungen der Gesundheit stark beeinträchtigt. So kam es, daß der Vorrat an Exemplaren der in zweiter Auflage erschienenen zwei Abteilungen (Protozoa und Mollusca) bereits zu Ende ging, lange bevor die Bearbeitung der übrigen Abteilungen der neuen Auflage vollendet war.

Unter diesen Umständen erschien der dringende Wunsch der Verlagsbuchhandlung durchaus berechtigt, das möglichst rasche Erscheinen einer neuen Auflage des Werkes durch Heranziehung weiterer bewährter Mitarbeiter zu sichern.

Für die Art der Behandlung der neuen Auflage, für welche Herausgeber und Verleger den neuen Titel „Handbuch der Morphologie“ gewählt haben, ist den Herren Mitarbeitern möglichst enge Anlehnung an die Abteilungen Protozoa und Mollusca der zweiten Auflage anempfohlen worden, so daß eine weitere Darlegung der Tendenzen des Werkes unnötig erscheint.

Das Handbuch der Morphologie soll in kurzer Frist, womöglich bis Ende 1913 in 6 Bänden und in Lieferungen von durchschnittlich 10 Bogen Umfang erscheinen.

Der Stoff wird sich auf diese 6 Bände in folgender Weise verteilen.

Im ersten Bande wird Herr Prof. MAX LÜHE in Königsberg die Protozoa in neuer Bearbeitung behandeln.

Der zweite Band, dessen erste Lieferung vorliegt und dessen Redaktion sich, abgesehen von 2 kleineren Abschnitten, der Herausgeber vorbehalten hat, soll eine allgemeine Einleitung in die Morphologie der Metazoen enthalten. Herr Dr. S. TSCHULOK eröffnet ihn mit einem Essai „Logisches und Methodisches“, und Herr Prof. V. HAECKER gibt eine gedrängte Uebersicht über die „Zeugungslehre“. Der vom Verfasser bearbeitete Hauptteil des Bandes wird umfassen: eine allgemeine Lehre vom zelligen Aufbau des Metazoenkörpers (Gewebelehre), eine zusammenfassende Uebersicht über die Furchung und Anlage der primitiven Keimblätter und ein Kapitel über Organbildung, sowie einen Versuch der Ableitung der Haupttypen tierischer Organisation (allgemeine Phylogenie).

Im dritten Band folgt die Bearbeitung der Mesozoen und Zoophyten durch Herrn Prof. O. MAAS in München, der Platoden (inkl. Nemertinen) durch Herrn Dr. J. WILHELM in Steglitz-Berlin und der verschiedenen Gruppen der Würmer durch Herrn Prof. K. HESCHELER in Zürich.

Der vierte Band ist für die Arthropoden bestimmt. Herr Prof. W. GIESBRECHT in Neapel wird die Crustaceen neu bearbeiten, Herr Prof. E. BUGNION in Lausanne die Hexapoden. Alle übrigen Gruppen der Gliederfüßer hat Fräulein Dr. MARIE DAIBER in Zürich übernommen. In einem Schlußkapitel wird Herr Dr. CARL BÖRNER in St. Julien-Metz seine Anschauungen über die Morphologie der Arthropodengliedmaßen vortragen.

Die Bearbeitung des fünften Bandes „Mollusca“ hat wiederum Herr Prof. K. HESCHELER übernommen, und in die Redaktion des sechsten, welcher den Echinodermen und Entero-pneusten gewidmet sein wird, werden sich Prof. HESCHELER und der Herausgeber teilen.

Der Verleger und die Verfasser werden für eine gute und reiche Illustrierung auch der neuen Auflage bemüht sein und es ist sicher, daß hinsichtlich der ganzen Ausstattung der Herr Verleger die ausgezeichneten Traditionen seines verehrten Vorgängers und Vaters fortsetzen wird, der sich um die Wissenschaft so große und bleibende Verdienste erworben hat und dessen Andenken bei allen sich dauernd in Ehren erhalten wird, die zu ihm in näheren Beziehungen standen.

Arnold Lang.

I. Abschnitt.

Logisches und Methodisches.

Die Stellung der Morphologie im System der Wissenschaften und ihre Beziehungen zur Entwicklungslehre.

Von

Dr. S. Tschulok, Zürich.

1. Einleitung.

Eine gedrängte Betrachtung über die Logik der „vergleichenden Anatomie“, wie das vorliegende Handbuch in den ersten Auflagen betitelt war, muß gegenwärtig auf beträchtliche Schwierigkeiten stoßen. Einige dieser Schwierigkeiten müssen hier angeführt werden, weil uns das zugleich auf die Kernpunkte unserer Frage führen wird.

Die erste Schwierigkeit liegt in der Existenz traditioneller Bezeichnungen, die sich von einer Generation auf die andere unverändert vererben, während der Inhalt der Wissenschaft und die prinzipiellen Anschauungen mannigfachem Wechsel unterworfen sind. Es ist der Konservatismus des Wortes. Das Wort ist ja nicht der Begriff selbst, sondern nur ein Symbol für den Begriff, eine Einkleidung. Ist aber der Begriff seinem engen Kleide entwachsen, so läßt sich dasselbe nicht einfach abstreifen. Zwar ist dies heutzutage allgemein bekannt und anerkannt, und wir leben nicht mehr in jener „guten alten Zeit“ der Scholastik, da man aus dem Namen eines Dings sein „Wesen“ zu ergründen bestrebt war. Aber trotzdem ist das Obige noch lange keine Binsenwahrheit. Es wird auch heute noch häufig genug geglaubt, daß mit der Existenz eines solchen Namens auch die Existenz eines ihm entsprechenden separaten Wesens notwendig verbunden ist; es wird dabei übersehen, daß in jeder solchen Bezeichnung einer wissenschaftlichen „Disziplin“ eine historische Komponente enthalten ist und daß bei einer unvoreingenommenen Prüfung der rein logischen Natur eines wissenschaftlichen Sondergebietes es geboten erscheint, sich von den üblichen Bezeichnungen desselben zunächst ganz zu emanzipieren.

Eine andere Schwierigkeit zeigt sich darin, daß solche Ausdrücke, die gewisse Teile der Wissenschaft bezeichnen, nicht bloß als logische Kategorien in dem Bewußtsein der beteiligten Kreise fortexistieren, sondern in verschiedenen Gebilden des wirklichen Lebens eine Dauerform annehmen, mit der wir dann praktisch rechnen müssen. Es sind das die Einrichtungen des Hochschulbetriebes, z. B. in unserem Falle die Lehrstühle, Laboratorien, Kurse, Lehrbücher der „vergleichenden Anatomie“. Da nun im wirklichen Leben unter diesen Bezeichnungen

bestimmte Dinge verstanden werden und eine Gefahr der Verwechslung also nicht vorliegt, so ist es für die Existenz dieser Dauergebilde auch zunächst gleichgültig, ob die betreffende Bezeichnung logisch vollkommen einwandfrei ist oder nicht. Es ist wie eine abgegriffene Münze, die, solange sie nicht durch Beschluß außer Kurs gesetzt ist, praktisch genau so viel leistet wie eine frisch geprägte von gleichem konventionellem Wert. Wenn aber eine Untersuchung über die rein logische Natur eines solchen Wissenszweigs durchgeführt werden soll, so muß auch von diesen äußeren Formen und Mitteln der Stabilisierung der Begriffe abgesehen werden. Die Existenz eines Lehrbuches oder eines Kurses der vergleichenden Anatomie ist demnach kein Beweis dafür, daß dieser Wissenszweig in seiner logischen Selbständigkeit einheitlich und einwandfrei definiert ist. Es braucht aber kaum hervorgehoben zu werden, daß die Klarlegung des logischen Charakters keinen Angriff auf die praktisch bestehenden und wirkenden Dauerformen der realisierten Begriffe darstellt.

Eine dritte Schwierigkeit liegt in folgendem. Bei der Weiterentwicklung der Wissenschaft erhält nicht nur ein bereits existierender Zweig einen neuen Inhalt, ohne den Namen zu verändern, sondern es tauchen auch ganz neue Forschungsrichtungen auf. Wenn nun eine solche neue Forschungsrichtung praktisch, oder sagen wir, technisch, sich in einen Gegensatz zu der alten Richtung stellt, so wird daraus nur zu leicht ein prinzipieller, logischer Gegensatz konstruiert. In unserem Falle ist es so ergangen. Als die experimentelle Forschungsrichtung in der Biologie aufgetreten ist, da wurde es üblich, dieselbe „der vergleichenden Forschung“ entgegenzustellen. Aus der häufigen Gegenüberstellung bildete sich allmählich die Meinung aus, die vergleichende und die experimentelle Biologie bildet zwei durchaus verschiedene Forschungsgebiete, die sich gegenseitig ausschließen und deren Summe die Biologie darstelle. Sofern dies nicht das Resultat einer speziell darauf gerichteten methodologischen Untersuchung darstellt, braucht es gar nicht richtig zu sein. Man vergesse nicht, daß die eine Hälfte dieser Antithese schon zu einer Zeit existierte, als von der anderen noch keine Rede war. Wir werden zeigen, daß die Auffassung, wonach die vergleichende Anatomie den methodologischen Antipoden der „experimentellen“ Forschung bilde, viel jüngeren Datums ist als die Bezeichnung selbst und durch Umdeutung älterer Vorstellungen entstanden ist.

Bisher ist von Namen die Rede gewesen. Soll aber eine objektive logische Analyse der „vergleichenden Anatomie“ versucht werden, so müssen auch manche sachlich festgelegte Vorstellungen vorläufig suspendiert werden. Eine der am meisten störenden ist die Vorstellung von der Zweiteilung der Biologie in „Morphologie und Physiologie“. Diese Zweiteilung hat sich nicht etwa unbemerkt eingeschlichen, wie die Zweiteilung in vergleichende und experimentelle. Sie ist im Gegenteil in einem ganz bestimmten Zeitpunkt und mit Aufwand eines großen Apparates von logischen und methodologischen Betrachtungen in die Wissenschaft eingeführt worden. Diese logische Begründung ist aber nicht stichhaltig. Die Widerlegung des Satzes von der Zweiteilung der Biologie in Morphologie und Physiologie wird aber heutzutage nicht etwa dadurch erschwert, daß sich viele begeisterte Verteidiger desselben finden, sondern vielmehr dadurch, daß die meisten gar nicht wissen, unter welchen Umständen und mit welcher Begründung dieser

Satz einst in die Wissenschaft eingeführt worden ist. Denn wer studiert noch heute eingehend die methodologischen Betrachtungen in SCHLEIDENS „Grundzügen der wissenschaftlichen Botanik“ und die betreffenden Kapitel aus HAECKELS „Genereller Morphologie“, die nun doch ein bloß historisches Interesse darstellen.

Aus der ziemlich allgemeinen Anerkennung dieser scharfen Gegenüberstellungen, wie „experimentelle—vergleichende“, „Morphologie—Physiologie“ ergibt sich bei vielen wie von selbst die Vorstellung, daß diese beiden Antithesen durch Kombination auf eine einzige zurückgeführt werden müssen, indem die Morphologie die vergleichende, die Physiologie dagegen die experimentelle Wissenschaft von den Organismen darstelle. Das war auch die Ansicht, der wohl noch vor etwa 25 Jahren die überwiegende Mehrzahl der Zoologen huldigte. Heute ist diese einfache und anscheinend so klare Anschauung dahin. Wir werden sehen, welche ganz extremen Anschauungen über das Wesen der Morphologie und ihre Stellung zu anderen Teilen der biologischen Wissenschaft in neuerer Zeit sich geltend gemacht haben, indem die Berechtigung der „vergleichenden Methode“ von den einen ebenso einseitig bestritten wie von den anderen verteidigt wird. Um unter diesen Umständen ein selbständiges und begründetes Urteil über die Natur des in Rede stehenden Wissenszweiges zu gewinnen, muß man sich zu allererst nach einem festen Standpunkt umsehen. Einen solchen vermag uns aber nur eine bestimmte, konsequent durchgeführte Vorstellung über das Wesen der Biologie überhaupt und ihre Stellung im System der Wissenschaften und ihre Einteilung in Einzelgebiete zu geben. Selbstverständlich werden wir dabei nicht mit den in Umlauf befindlichen Ausdrücken, wie „vergleichende“ Anatomie, Morphologie usw. operieren, sondern es werden dieselben zunächst noch einer Analyse unterworfen und nur dasjenige in die Darstellung des Systems aufgenommen, was eindeutig und klar definiert ist.

2. Nomothetische und idiographische Komponente in der Biologie.

Wir gehen von der WINDELBANDSchen Einteilung der gesamten Erfahrungswissenschaft in idiographische und nomothetische Wissenschaften aus. Das Bestreben der idiographischen Wissenschaft ist darauf gerichtet, „ein einzelnes, mehr oder minder ausgedehntes Geschehen von einmaliger, in der Zeit begrenzter Wirklichkeit zu voller und erschöpfender Darstellung zu bringen“. Der formale Charakter der Erkenntnisziele der nomothetischen Disziplinen wird dagegen folgendermaßen bestimmt: „Es sind immer Gesetze des Geschehens, welche sie suchen, mag dieses Geschehen nun eine Bewegung von Körpern, eine Umwandlung von Stoffen, eine Entfaltung des organischen Lebens oder ein Prozeß des Vorstellens, Fühlens oder Wollens sein.“ (WINDELBAND, Geschichte und Naturwissenschaft, Rektoratsrede, S. 10/11.)

Wie schon aus dem Titel der Rede ersichtlich, galt es bei dieser Einteilung der Wissenschaften, den Unterschied zwischen der Geschichte, als dem Prototyp der idiographischen Disziplinen, und der Naturwissenschaft, als dem Vorbild nomothetischer Disziplinen zu kennzeichnen, wobei der Begriff der Naturwissenschaft weit gefaßt ist, so daß auch die Psychologie darin inbegriffen ist. Aber schon

WINDELBAND hebt hervor, daß „dieser methodische Gegensatz nur die Behandlung, nicht den Inhalt des Wissens selbst klassifiziert“.

Wenn man daher ein bestimmtes Wissensgebiet auf seine Zugehörigkeit zu dem einen oder anderen der beiden Typen prüft, so stellt sich häufig heraus, daß manche Wissensgebiete keine Einheitlichkeit darstellen, sondern eine Mischung von idiographischen und nomothetischen Komponenten aufweisen. WINDELBAND selbst hat dies bezüglich der Biologie kurz berührt, wir müssen hier diese Frage eingehender behandeln. Es sei aber vorausgeschickt, daß WINDELBAND selbst schon den ganz allgemeinen Satz aufgestellt hat, zum vollständigen Verstehen der Erscheinungen der Welt sei unbedingt eine Kombination der beiden Forschungsmethoden erforderlich. Ein Geschehen hat diese und keine andere Form angenommen, weil der gesetzmäßige Verlauf der Geschehnisse unter solchen Umständen ein solches und kein anderes Resultat zuließ, das ist die nomothetische Komponente. Aber daß die Umstände solche waren, bei denen der Verlauf so und nicht anders werden mußte, das ist die idiographische Prämisse oder Komponente. WINDELBAND sagt: „In der Sprache der heutigen Wissenschaft ließe sich sagen: aus den allgemeinen Naturgesetzen folgt der gegenwärtige Weltzustand nur unter der Voraussetzung des unmittelbar vorhergehenden, dieser wieder aus dem früheren und so fort; niemals aber folgt ein solcher bestimmter Lagerungszustand der Atome aus den allgemeinen Bewegungsgesetzen selbst. Aus keiner „Weltformel“ kann die Besonderheit eines einzelnen Zeitpunktes unmittelbar abgeleitet werden: es gehört dazu immer noch die Unterordnung des vorhergehenden Zustandes unter das Gesetz.“ (S. 25.) „Das Gesetz und das Ereignis bleiben als letzte, inkommensurable Größen unserer Weltvorstellung nebeneinander bestehen.“ (S. 27.)

Was ist nun die Biologie für eine Wissenschaft? Da sie zu den „Naturwissenschaften“ gehört, so wäre scheinbar die Frage gleich entschieden, denn als Naturwissenschaft müßte die Biologie Gesetzeswissenschaft sein und ihre Aufgabe sollte in der Feststellung der gesetzmäßigen Verknüpfung der Erscheinungen in den Lebewesen bestehen. Doch ist es leicht einzusehen, daß diese Definition zu eng ist.

Es ist vielleicht nicht überflüssig, hier die Bemerkung einzuschalten, daß ich unter Biologie die Gesamtwissenschaft von den Lebewesen, nicht, wie es manchmal geschieht, die Wissenschaft von den Lebenserscheinungen, den Anpassungen, der Variation usw., verstehe. Es ist sehr zu bedauern, daß sich in der Literatur für dieses Wort eine ganze Menge von Deutungen in Umlauf findet, so daß wir das merkwürdige Schauspiel erleben, daß das Ganze und einige voneinander verschiedene Teile desselben durch den gleichen Ausdruck bezeichnet werden.

Die Biologie bedeutet also für uns die gesamte wissenschaftliche Behandlung der Lebewesen. Es soll versucht werden nachzuweisen, warum diese Wissenschaft sich nicht allein aus der Feststellung von Gesetzen zusammensetzen kann.

Die Objekte der Biologie sind die Organismen und die an ihnen sichtbaren Vorgänge. Insofern nun die Objekte der Chemie die Stoffe und die an ihnen sich abspielenden Vorgänge darstellen, könnte man an eine völlige Analogie der beiden Gebiete denken. Und da ist ja

bekannt, daß die Chemie als die Wissenschaft von den Gesetzen der Stoffwandlung einen rein nomothetischen Charakter hat. Wenn sie auch gezwungen ist, die Stoffe und ihre Eigenschaften namhaft zu machen, so sind diese Eigenschaften doch wiederum zum größten Teil Vorgangseigenschaften (OSTWALD), für die „reine Beschreibung“ oder „reine Klassifikation“, wie man es nennen wollte, bleibt nicht die Bedeutung einer besonderen Aufgabe, es ist Vorarbeit im besten Falle.

Ganz anders verhält sich aber die Biologie, und dieser Unterschied leuchtet ein, wenn man bedenkt, daß wir es in der Biologie mit individualisierten Trägern der Lebenserscheinungen zu tun haben, die nur auf dem Wege der Zeugung von ihresgleichen ihren Ursprung nehmen und die sich einer gewissen Variabilität erfreuen. Diese drei Eigenschaften der organisierten Träger der Lebenserscheinungen sind es, die in die Beschäftigung mit den Lebewesen eine idiographische Komponente hineinbringen. Dadurch, daß ein Lebewesen einen zeitlich begrenzten Lebenszyklus durchmacht, werden wir gezwungen, uns nach etwas Dauerndem umzusehen, nach etwas, was die einzelnen Lebenszyklen überragt, sie alle in sich schließend. Die Erscheinung der Elternzeugung bietet uns eine Handhabe dazu. Und die Einsicht in die Erscheinung der Variabilität erlaubt uns auch dort noch von Zugehörigen einer höheren Einheit zu sprechen, wo das unmittelbare Band der Verwandtschaft im engeren Sinne des Wortes nicht zu eruieren ist.

Das führt uns zum Begriffe der Art und aller höheren systematischen Kategorien: Gattungen, Familien, Ordnungen, Legionen, Klassen und Typen.

Diese Feststellung, daß es solche und solche Formen gibt und daß sie sich in besagter Weise unter höhere Kategorien bringen lassen, bleibt als primäre, mit anderen methodologisch inkommensurable bestehen und bedingt eine eigenartige Behandlung, die sich weder mit der nomothetischen noch mit der idiographischen Behandlungsweise gänzlich deckt. Zwar meint WINDELBAND, als Systematik sei die Biologie nomothetischen Charakters, „insofern sie die innerhalb der paar Jahrtausende bisheriger menschlicher Beobachtung sich stets gleich bleibenden Typen der Lebewesen als deren gesetzmäßige Form betrachtet“. Allein bedenkt man die Sache etwas tiefer, so zeigt sich, daß es eine Anmaßung wäre, wenn die Biologie behaupten wollte, sie hätte die Form der gegebenen Lebewesen auf Gesetze zurückgeführt. Insofern es ein Postulat unserer Vernunft ist, die Gesetzmäßigkeit allen Geschehens gelten zu lassen, ist natürlich jede Art heute so, weil sie infolge der Geltung von Gesetzen so sein muß, aber dieses Postulat ist doch nicht zu verwechseln mit dem Ergebnis nomothetischer Forschung im Einzelfall, sonst hieße ja das, das Ergebnis der Forschung vorwegnehmen.

Es gibt tatsächlich in der organischen Formenwissenschaft eine idiographische und eine nomothetische Komponente. Es ist aber nicht ganz leicht, die eine und die andere ohne eingehende logische Untersuchungen klarzulegen. Richtet man sein Augenmerk auf den Ablauf der einzelnen Lebenszyklen, so ist man dazu prädisponiert, die idiographische Komponente zu übersehen. Man sagt sich dann: daß aus dem Ei eines Huhns immer ein Hühnchen entsteht, das ist der Ausdruck des diese Materie beherrschenden Gesetzes. Dann ist die Wissenschaft von den organischen Formen nomothetisch. So meint es

auch WINDELBAND und so meinen es die Entwicklungsmechaniker und Entwicklungsphysiologen. Man denke aber an die oben erwähnte Erscheinung der Kontinuität, und die Sachlage verändert sich mit einem Schlage: es entsteht aus dem Hühnerei ein Hühnchen, weil das Ei von einem Huhn abgelegt wurde. Daß es aber heute auf der Erde eine Species Huhn gibt, das ist nicht mehr nomothetisch, sondern nur idiographisch zu erforschen.

Diese Darstellung richtet sich gegen die extreme „entwickelungsmechanische“ Auffassung. Wir müssen die nomothetische Seite der Formenwissenschaft auf die Erforschung des mannigfach variierten Einflusses der äußeren Bedingungen auf die Gestaltbildung im Organismenreich einschränken. Daneben bildet die Sichtung, Zusammenstellung und Sonderung der gegebenen Formerscheinungen unter Benutzung vereinheitlichender Begriffe eine zweite, idiographisch bedingte Arbeitsrichtung, der von den Entwicklungsmechanikern der Wert einer Wissenschaft abgesprochen wird. Es freut mich zu konstatieren, daß ein den Entwicklungsmechanikern so nahe stehender, modern denkender Autor wie E. SCHULZ in allerneuester Zeit gegen die „experimentelle Richtung“ den Vorwurf geltend macht: „sie vergesse, daß ihr Objekt, der Organismus, eine Geschichte hat, während sie den physikalischen und chemischen Körpern fehlt“, ein Vorwurf, den EISIG bereits vor 20 Jahren mit etwas anderen Worten formuliert hatte.

Daß es in der Biologie eine idiographische Komponente gibt, das wurde in anderen Ausdrücken bereits von SCHLEIDEN ausgeführt. Er schrieb 1855 über Morphologie: „Weder aus den Eigenschaften des Stoffes, noch aus den Gesetzen der Bewegung läßt sich ableiten, weshalb gerade 41 Planeten die Sonne umkreisen, weshalb nur Erde, Jupiter, Saturn und Uranus Trabanten haben, weshalb nur Saturn einen Ring hat usw. . . . Kurz, es gibt noch bestimmte, feststehende, gewordene räumliche Verhältnisse, welche nicht aus dem Gesetze der Bewegung folgen, welche nicht als Eigenschaften der Materie des Stoffes überhaupt betrachtet werden können, Verhältnisse, die die Form ausmachen, unter der uns die bewegten Massen erscheinen, mit einem Worte, eine bestimmte Gestalt dieses unseres Planetensystems, welche als zufällig insofern erscheint, als daneben noch unzählige andere Gestalten möglich und vielleicht auch für andere Sonnenmittelpunkte wirklich sind“ (SCHLEIDEN, Die Pflanze und ihr Leben).

3. Einteilung der biologischen Forschung nach der logischen Natur der Probleme.

Mit diesem Nachweis einer idiographischen Komponente in der Erforschung der Lebewesen soll nicht gesagt sein, daß nun die Biologie eine historische Wissenschaft sei. Die Geschichte ist ja nur als das Prototyp einer rein idiographischen Wissenschaft hingestellt worden. Aber die Umkehrung des Satzes würde eine zu weitgehende Schematisierung bedeuten. Also nicht alles, worin sich eine idiographische Komponente zeigt, ist deswegen schon als „Geschichte“ zu betrachten. Mit obigem Nachweis einer idiographischen Komponente in der Biologie wurde nur bezweckt, darzutun, daß in der Biologie, trotzdem sie eine wirkliche Naturwissenschaft ist, neben der Feststellung der Gesetzmäßigkeit von Naturvorgängen auch noch

eine Art Arbeit verrichtet wird, eine Arbeit, die ihrem logischen Wesen nach von jener ersteren grundverschieden, ja in einem Sinne sogar vollständig mit ihr inkommensurabel ist.

Diese durch die idiographische Komponente bedingte Art der Forschung kann als die Beherrschung der Mannigfaltigkeit durch Unterordnung unter Gruppenbegriffe bezeichnet werden. Sie ergibt sich aus einer Aneinanderreihung von Objekten nach Maßgabe ihrer gemeinsamen Merkmale, ist also im wesentlichen als die Bildung von Gattungsbegriffen zu betrachten. Wir müssen aber gleich hier bemerken, daß es sich nicht um die bloße Konstatierung handelt; daß es nicht die Form des Urteils annimmt: dieses Ding ist so, jenes so. Eine solche Konstatierung würde tatsächlich den Namen einer Wissenschaft nicht verdienen. Die wissenschaftliche Behandlung beginnt erst mit der Feststellung von Beziehungen zwischen den Objekten. Durch die Inbeziehungsetzung der Objekte ist nämlich erstens die ökonomische Funktion der Wissenschaft ermöglicht, indem eine Ersparnis an geistiger Arbeit erzielt wird. Und zweitens ist dadurch erst die Anwendung eines kritischen Verfahrens ermöglicht, die Sichtung und Prüfung der für die Zusammenstellung der Objekte maßgebenden Gesichtspunkte.

Wir werden dies am deutlichsten aus einem Beispiel erkennen.

Die Erkenntnis, daß ein uns vorliegender Flußkrebis 19 Paar gegliederter Anhänge hat, nämlich: zwei Paar Fühler, ein Paar Oberkiefer, zwei Paar Unterkiefer, drei Paar Kieferfüße, fünf Paar Gangbeine und sechs Paar Afterfüßchen, diese Erkenntnis ist an und für sich noch keine wissenschaftliche Errungenschaft. Wäre nämlich bei einem zweiten Individuum eine ganz andere Anzahl von ganz anders gestalteten Anhängen und in anderer Verteilung auf die Körperregionen, so bliebe es eine unzusammenhängende Summe von Einzeltatsachen.

Und es wäre eine wenig imponierende Leistung, sich das alles genau anzumerken oder gar auswendig zu lernen. Wissenschaft beginnt erst mit der Bildung der Begriffe, die auf der Konstatierung der Beziehungen beruhen. Der nächste Begriff auf diesem Gebiete ist der Begriff des gegliederten Anhangs. Auf Grund der Stellung zu den anderen Körperteilen, der Art der Anlage und Entwicklung stellt sich eine Verwandtschaft zwischen den Fühlern, den Mundwerkzeugen, den Gangbeinen, Afterfüßchen, Kopulationsorganen usw. heraus. Neben der Konstatierung der Konstanz der Zahl in der Art, Gattung, Familie, Ordnung, sogar in der ganzen Legion oder Unterklasse, neben der Feststellung der Verschmelzung mehrerer Segmente zu einer Region, ergibt sich die Möglichkeit einer zusammenfassenden Darstellung dieser Verhältnisse. Eine größere Gleichartigkeit, geringerer Grad der Verschmelzung, vollständigere, deutlichere Ausbildung aller Segmente und ihrer Anhänge wird als ein primitiverer Zustand betrachtet werden. Eine größere Mannigfaltigkeit in der Ausbildung der Anhänge, weitgehende Verwachsung der Segmente, stärkere Reduktion einzelner Regionen und ihrer Anhänge, wird als ein mehr abgeleiteter Zustand bezeichnet werden. Sowohl die Vergleichung ausgewachsener Anhänge, als auch ganz besonders die Betrachtung verschiedener Entwicklungsstadien wird zeigen, daß der zweireihige Spaltfuß die primitive Form darstellt, der einreihige Fuß dagegen die abgeleitete. Ebenso ist ein Anhang als stark abgeleitet

zu bezeichnen, wenn er im ausgebildeten Zustande eigentlich keine Gliederung aufweist, indem er sich bloß aus dem proximalen (basalen) Stück zusammensetzt. Daß man auf Grund dieses oder jenes Grades der Verwachsung der Segmente oder der Verkümmern der Anhänge Gruppen des Systems bilden wird, soll hier nur beiläufig erwähnt werden. Auch die deszendenztheoretische Auslegung bleibe vorläufig beiseite. Es ist zur Genüge dargetan worden, daß es für diese Art der Inbeziehungsetzung von Erscheinungen charakteristisch ist, daß die miteinander in Beziehung gesetzten Objekte gemeinsame Merkmale besitzen; daß der Begriff des einen Objektes aus dem Begriff des anderen abgeleitet werden kann, indem aus dem Komplex von Merkmalen einige herausgehoben und andere eingesetzt werden. Man kann daher diese Beziehung nicht anders bezeichnen denn als „begriffliche“. Wir wollen nun diese Forschungsrichtung, die auf eine Aneinanderreihung von Objekten unter Feststellung ihrer begrifflichen Beziehungen hinausläuft, als „Biotaxie“ bezeichnen.

Dieselben Objekte, die gegliederten Anhänge des Krebses, können aber noch in ganz anderer Art in eine gesetzmäßige Beziehung zu anderen Erscheinungen gesetzt werden. Es ist das eine Art von Beziehungen, wie man sie in den physikalischen Wissenschaften auf Schritt und Tritt zu formulieren hat. Die allgemeine Form solcher Beziehungen ist folgende: wenn die eine Erscheinung A so ist, dann ist die andere Erscheinung B so, ist dagegen die erstere etwas anders, etwa A', dann hat die andere Erscheinung die Beschaffenheit B'. Auf unseren Fall angewandt heißt es also: wenn der gegliederte Anhang diese bestimmte Funktion zu erfüllen hat, so hat er die Form, hat er aber eine andere Funktion zu erfüllen, so hat er diese andere ganz abweichende Form. Die Beziehung zwischen der Form und der Funktion der Organe, ferner die Beziehung zwischen Form + Funktion auf der einen, und den besonderen jedesmaligen Lebensbedingungen auf der anderen Seite, diese Beziehungen sind, wie das angeführte Beispiel der gegliederten Anhänge der Krebse deutlich zeigt, von ganz anderer Natur als die oben besprochenen begrifflichen Beziehungen der homologen Organe untereinander. Dort verhalten sich die in Beziehung gesetzten Objekte so zueinander, daß der Begriff des einen durch Hinzufügung oder Weglassung einiger Merkmale sich in den Begriff des anderen überführen läßt. Hier sind die Begriffe völlig verschieden. Wie man nicht ein Pferd durch eine Deichsel dividieren kann, so kann man durch keine Merkmalsänderung den Begriff des Scherenfußes aus dem Begriff des Ergreifens der Beute herleiten. Aber das Ergreifen der Beute ist die Funktion des Scherenfußes, und es besteht eine sichtbare Beziehung zwischen der besonderen Ausbildung dieses Scherenfußes und seiner besonderen Funktion. Da bei dieser Art von Beziehungen die wirklichen Eigenschaften eines Objektes eine direkte Abhängigkeit von den Eigenschaften einer anderen Erscheinung zeigen, so wollen wir diese Beziehungen als reale Beziehungen und die Erforschung solcher realer Beziehungen als „Biophysik“ bezeichnen. Biotaxie und Biophysik sind die beiden grundverschiedenen und völlig inkommensurablen Arten der Forschung, wenn man die logische Natur der dabei angestellten Betrachtungen zum Unterscheidungsmerkmal nimmt. Sie sind selbstverständlich nicht durch das ihnen zugewiesene Objekt verschieden, und ebensowenig durch die Technik der Unter-

suchung, sondern einzig und allein durch die Art der zur Anwendung kommenden Denkprozesse und Aussagen. Wir haben ja gesehen, wie ein und dasselbe Objekt bald von der biotaktischen, bald von der biophysikalischen Seite betrachtet wird.

4. Einteilung der Biologie nach der materiellen Natur der Probleme.

Neben dieser Einteilung der gesamten biologischen Forschung in zwei Typen nach den formal-logischen Differenzen, muß noch eine andere Einteilung vorgenommen werden, bei der wir vom Unterschied der materiellen Gesichtspunkte ausgehen, die bei der Erforschung der Tiere maßgebend sind. Man könnte es auch so ausdrücken: welche Fragen bezüglich der tierischen Organismen müßten beantwortet werden, damit unser rein wissenschaftliches Interesse (also abgesehen von der angewandten Zoologie) sich vollständig befriedigt fühlte? Es scheint mir, daß man bei dem gegenwärtigen Stande der zoologischen Forschung sieben solche Fragen aufzählen muß, deren Beantwortung für die vollständige Erkenntnis der Erscheinungen im Tierreich notwendig und hinreichend wäre. Wir wollen sie hier alle durchgehen.

Als erstes möchten wir die Klassifikation oder Taxonomie anführen, d. h. die Gruppierung der Tiere in Arten, Gattungen, Familien, Ordnungen, Legionen, Klassen und Typen. Man mag über den Wert oder Unwert der „Systematik“ verschiedener Meinung sein, wir haben hier keinen Grund, auf alle die abweichenden Anschauungen einzugehen. Es bleibt aber als Tatsache bestehen, daß die Zoologen einen beträchtlichen Teil ihrer Arbeitskraft der Erforschung dieser Gruppierung der Tiere nach dem Grade ihrer Ähnlichkeit widmen. Selbst extreme Gegner der „Systematik“ werden nicht in Abrede stellen, daß die Unterordnung der Einzeldinge unter Gruppenbegriffe der ökonomischen Funktion der Wissenschaft entspricht und daß die Sichtung der Kriterien der „systematischen Verwandtschaft“ zur Ausbildung des kritischen Urteilsvermögens beiträgt.

Der zweite materielle Gesichtspunkt der zoologischen Forschung ist derjenige der Formerscheinungen oder der Gestalten. Es ist die Morphologie, um einen alten gebräuchlichen Namen anzuwenden. Nicht vereinzelte Befunde betreffend die Formerscheinung, sondern Zurückführungen auf bestimmte Grundformen, Symmetrieverhältnisse, Metamerien, konstante gegenseitige Lagerungsverhältnisse bestimmter Körperteile, Zusammenhang mit der Lebensweise, Korrelation, Anpassung usw., das ist der Gegenstand der Morphologie. Daß es sich dabei einerseits um die Feststellung der Einheit in der Mannigfaltigkeit, andererseits um Feststellung kausaler und teleologischer Beziehungen der Gestalt handelt, ist oben bereits mit hinreichender Ausführlichkeit dargelegt worden¹⁾.

Die dritte materielle Frage der Forschung ist diejenige der Lebensvorgänge. Da die Organismen fortwährend Stoffe aus der Außenwelt aufnehmen, sie verarbeiten und in anderer Zusammensetzung wieder abgeben, dabei aber eine für jede Art spezifische Zu-

1) Obiges gilt nicht nur vom Körper als Ganzes, sondern auch von seinen Teilen, den Organen, Geweben und Zellen.

sammensetzung beibehalten, so ergibt sich daraus die Notwendigkeit einer Erforschung der Gesetze des Stoffwechsels. Daneben gibt es natürlich auch Gesetze des Energiwechsels und des Formwechsels. Die Erforschung der Gesetze der Formbildung und Formwandlung kann als ein integrierender Bestandteil der Physiologie, neben dem Stoff- und Energiwechsel, er kann aber auch als der biophysikalisch betriebene Teil der Morphologie betrachtet werden. Ganz unnötig sind dagegen solche Namen wie „Entwicklungsmechanik“. Besser ist die DRIESCHSche Bezeichnung „Entwicklungsphysiologie“, aber noch einfacher und schlichter ist „Physiologie der Formbildung“. Bei „Entwicklungsmechanik“ denkt man unwillkürlich an mechanische Auslegungen, während es ein Gebot der Methodologie ist, in die Definitionen ja keine fertigen Bestimmungen über die Art der Auslegung der Resultate aufzunehmen. Bei „Entwicklungsphysiologie“ denkt man unwillkürlich an die Entwicklung des Embryo. Aber es braucht nicht unbedingt ein Embryo zu sein, um das Objekt der „Physiologie der Form“ zu bilden. Die mit dem Eintritt der Pubertät verbundenen Veränderungen, ja auch die Involutionserrscheinungen des alternden Organismus und die reparativen Veränderungen des Organismus (etwa verheilte Knochenbrüche), sie alle unterliegen der Erforschung unter dem kausalen und teleologischen Gesichtspunkte der Physiologie des Formwechsels. Und doch sind das keine embryonalen Entwicklungsvorgänge.

Eine weitere, in den obigen nicht enthaltene Fragestellung für die Erforschung der Tierwelt liegt der Untersuchung der Anpassungen der Tiere zugrunde. Im Vordergrund des Interesses steht hier die lebenserhaltende Natur der verschiedenen Strukturen und Prozesse. Es ist die Oekologie. Es muß hervorgehoben werden, daß die Bezeichnung dieses Gebietes als „Biologie“ schon zu manchem Mißverständnis Anlaß gegeben hat.

Einen fünften materiell verschiedenen Zweig der zoologischen Forschung stellt die Tiergeographie, besser Chorologie der Tierwelt, dar. Hier kommt sowohl die biophysikalische Erforschung der Verbreitungsmittel und -wege, der Verbreitungshindernisse und ihrer Wirkung auf die Isolation der Formen usw. als auch die durch die ganze Vergangenheit mitbedingte und heute in ihrem einfachen Gegebensein zu erforschende Verteilung der verwandten Formen auf der Erde in Betracht. Unter Benutzung der von der Klassifikation her gegebenen Begriffe gelingt es dann, auf Grund des Vorhandenseins oder Fehlens gewisser Formengruppen die einzelnen Erdräume faunistisch zu charakterisieren.

Der sechste Gesichtspunkt der Erforschung der Tierwelt wird durch die Notwendigkeit gegeben, die zeitliche Aufeinanderfolge verwandter Formen in der Erdgeschichte festzustellen. Wir bezeichnen es als Chronologie, ein Ausdruck, der auch schon um die Mitte des 19. Jahrhunderts gebraucht wurde, aber in neuerer Zeit in Vergessenheit geraten ist. Wie sich unsere Chronologie von der „Paläontologie“ unterscheidet, soll weiter unten gezeigt werden.

Die siebente und letzte Art der Betrachtung der Lebewesen ergibt sich aus dem Umstande, daß wir wohl die individuellen Lebenszyklen der Tiere kennen, nicht aber den Ursprung derselben. Indem wir jedes einzelne Tier aus einem anderen auf dem Wege natürlicher Zeugung entstehen sehen, regt sich die Frage nach dem

Uranfänge dieser aneinandergeketteten Lebenszyklen, nach dem „Ursprung der Arten“, wie man es mit einem weniger geeigneten Ausdruck zu bezeichnen pflegt. Denn Arten sind abstrakte Begriffe. Was uns interessiert, ist der Ursprung der sichtbaren Mannigfaltigkeit. Um hier zu greifbaren positiven Ergebnissen zu gelangen, gehen wir von Erfahrungen aus, gelangen aber bald zu Hypothesen und Theorien. Aus der Sichtung der sicheren Erfahrungen über die abgestufte Mannigfaltigkeit der Organismen, die Elternzeugung, die individuelle Variabilität, die Verteilung in Raum und Zeit ergibt sich für jeden, der die Einzelerfahrungen zu einem von inneren Widersprüchen freien System zusammenfassen will, die zwingende Schlußfolgerung: Alle diese Erscheinungen lassen sich nur dann erklären, d. h. im Zusammenhang verstehen, wenn man annimmt, daß die gegebene Mannigfaltigkeit das Ergebnis eines Entwicklungsvorganges darstellt.

Kann es nachgewiesen werden, daß diese Aussage mit keinem Elemente unseres Erfahrungswissens in Widerspruch steht, so gilt sie als verifizierte und angenommene Hypothese, oder mit anderer Bezeichnung als Theorie. Diese ist für jeden bindend, der die Voraussetzungen angenommen hat und der in der Wissenschaft nicht bloß einen Haufen, wenn auch noch so exakt beobachteter Tatsachen, sondern ein Mittel zur Vereinheitlichung unserer Erfahrung erblickt.

Wer diese Theorie angenommen hat, der steht aber auch gleich vor zwei weiteren Problemen, die wir kurz als das Stammbaumproblem und das Faktorenproblem bezeichnen wollen. Es dürfte bekannt sein, was darunter zu verstehen ist. Wenn die Entwicklung als Theorie akzeptiert ist, so kann uns interessieren, eine Vorstellung von den Vorfahren einer gegebenen Tiergruppe zu gewinnen und eine Einsicht in die Notwendigkeit des Hervorgehens dieser Nachkommengruppen aus ihren Vorfahren anzustreben. So kann man sagen, daß das Gesamtgebiet der siebenten und letzten Frage, das wir als Genetik bezeichnen wollen, sich in drei Teile gliedert: die Grundfrage (ob Entwicklung oder unabhängiges Entstehen), die Stammbaumfrage und die Faktorenfrage.

5. Kombination der beiden Einteilungen.

Das vorstehend mitgeteilte System der biologischen Wissenschaft unterscheidet sich von allen ähnlichen Versuchen einer Systematisierung unter anderem dadurch, daß nicht eine Einteilung vorgeschlagen wird, sondern zwei: die eine beruht auf der Unterscheidung formaler Gesichtspunkte der Forschung, die andere auf der Auseinanderhaltung materieller Gesichtspunkte. Es ist ein Fehler der bisherigen Systeme, daß sie es versuchten, in einer Einteilung sowohl den methodischen als den sachlichen Unterschieden der verschiedenen Forschungszweige Rechnung zu tragen. Bei der hier vorgeschlagenen doppelten Einteilung entsteht aber die Frage: wie lassen sich diese beiden Einteilungsweisen kombinieren. Läßt sich einer der sieben materiellen Gesichtspunkte nur einem der beiden formalen Gesichtspunkte zuordnen oder ist innerhalb eines und desselben materiellen Gesichtspunktes die Anwendung beider grundverschiedenen Forschungsweisen möglich? Gehen wir kurz alle sieben Gesichtspunkte durch, so zeigt sich folgendes:

In der Klassifikation ist entsprechend ihrer Natur nur die Anwendung der biotaktischen Methode möglich, denn da handelt es sich immer nur um die Bildung von Gattungsbegriffen auf Grund der Betrachtung der Merkmale der einzelnen Dinge. Eine reale Beziehung, oder sagen wir ein funktionelles Abhängigkeitsverhältnis zwischen zwei Arten einer Gattung oder zwei Gattungen einer Familie usw. gibt es selbstredend nicht. Die Klassifikation oder Taxonomie arbeitet also ausschließlich biotaktisch.

Die Morphologie ist nach dem oben Dargelegten dasjenige Gebiet, wo die biotaktische und die biophysikalische Betrachtungsweise nebeneinander geübt werden können und müssen. Die Gestalten werden nach ihrer Einheit in der Mannigfaltigkeit, also biotaktisch, und ferner nach ihrem realen oder funktionellen Zusammenhang mit irgendwelchen sonstigen Erscheinungen studiert, also biophysikalisch.

Die Physiologie wird ausschließlich biophysikalisch behandelt. Die Lebensvorgänge und die Funktionen der Organe sollen in ihren realen Beziehungen zur Umwelt im weitesten Sinne des Wortes erforscht werden.

Dasselbe kann auch von der Oekologie gesagt werden, denn die Beziehungen, die wir als Anpassungen an die Außenwelt aufdecken, sind reale Beziehungen. Man denke an die verschiedene Färbung der Mantis religiosa je nach dem Aufenthaltsort (dürres oder grünes Gras) an die Differenzen der Krebse einer und derselben Art, je nach der Tiefe, in der sie gefunden werden (Dofleins Vorschlag, Standortsvarietäten bei den Krabben zu unterscheiden; in: Die Augen der Tiefseekrabben, Biol. Centralbl., 1903) usw. usw. Es ist leicht, einzusehen, daß, ganz abgesehen von dem besonderen teleologischen Charakter der hier aufgedeckten Beziehungen, die Form des zu konstatierenden Verhältnisses eine derartige ist: wenn A so ist, dann ist B so, ist aber A anders, dann ist auch B anders. Also ist es eine Zusammenfassung der Erscheinungen nicht nach begrifflicher Verwandtschaft, sondern nach funktionellen Abhängigkeitsbeziehungen. Die teleologische Färbung der Konstatierung, daß diese parallele Veränderlichkeit der Phänomene lebenserhaltend wirkt, verändert nichts an der logischen Form jener Art von Forschung, die wir als die biophysikalische bezeichnen müssen.

Die Chorologie oder die Lehre von der Verbreitung der Tiere im Raume (Tiergeographie) hat eine biotaktische und eine biophysikalische Seite. Die gesetzmäßigen und stets sich wiederholenden Vorgänge des Sich-Ausbreitens im Raume werden nach ihren realen funktionellen Beziehungen studiert. Die einmal gegebene und sozusagen idiographisch mitbedingte Verteilung im Raume wird aber in biotaktischer Weise dargestellt, zumal man hier an die von der Klassifikation gegebenen Gruppenbegriffe anknüpfen muß. Es werden ja die Areale der systematischen Gruppen, die auf Grund des Vorkommens oder Fehlens gewisser Familien und Ordnungen abgegrenzten tiergeographischen Regionen und Reiche in ihrer einmal gegebenen Beschaffenheit erforscht und gruppiert.

Die Chronologie betrachtet die Verteilung der verwandten Formen in der Zeit und gewinnt dadurch einen ausschließlich biotaktischen Charakter. Wenn von der Lebensweise der fossilen Tiere und ihren Anpassungen die Rede ist, so ist das eben Physiologie,

oder Oekologie oder Chorologie einer fossilen Tierart und unterscheidet sich logisch in nichts von den analogen Forschungen an lebenden Arten. Das Spezifische der Chronologie ist die gegebene Reihenfolge im zeitlichen Auftreten verwandter Formen, und da muß die biotaktische Methode vorherrschen.

In der Genetik endlich betätigt sich das Forschen nach beiden Richtungen. Denn in der Grundfrage der Genetik: selbständiges Erscheinen der einzelnen Arten oder Abstammung einer jeden Art von anderen, verwandten, da ist natürlich die biotaktische Betrachtungsweise die vorherrschende. Ohne den Begriff der Verwandtschaft, ohne die graduell abgestuften Aehnlichkeiten der Lebewesen hätte die Grundfrage der Genetik ja gar keinen Sinn. Und abgesehen von den Fällen, in denen uns die Annahme einer Konvergenz berechtigter erscheint, ist ja geradezu der Grad der Aehnlichkeit vom genetischen Standpunkt zugleich der Verwandtschaftsgrad. Die Verwandtschaft ist die Deutung der vorgefundenen Aehnlichkeit, daher bleibt es richtig, daß das Denken sich im Gebiete dieser Grundfrage der Genetik auf biotaktischem Boden bewegt. Man operiert ja da fortwährend mit Begriffen, die sich durch Merkmalsgeneralisation, nicht mit Begriffen, die sich aus der Betrachtung realer Abhängigkeitsverhältnisse ergeben. Anders ist die Sache auf dem Gebiete der dritten Frage der Genetik, nämlich der Frage nach den treibenden Kräften, oder den Faktoren der Umbildung. Hier werden reale, und zwar kausale und teleologische Beziehungen zwischen der jeweiligen Beschaffenheit der Organismenwelt im ganzen oder der einzelnen Formen und der Gesamtheit der ihre Existenz bedingenden Faktoren gesucht. Auch das ganze Gebiet der Erforschung der Formen und Gesetze der Variabilität fällt unter diesen biophysikalischen Gesichtspunkt. Die Formulierung der gefundenen realen Beziehungen ist in den einen Fällen vorwiegend kausal (z. B. Spaltungsgesetze bei alternativer Vererbung), in den anderen dagegen vorwiegend teleologisch (z. B. die komplementäre chromatische Adaptation der Algen, zahlreiche Regenerationserscheinungen usw.).

Wir haben durch diese Darstellung der Kombination unserer beiden Einteilungen der Biologie eine Grundlage gewonnen für die Beurteilung der Frage nach der logischen Selbständigkeit irgendeines gegebenen Teiles der Biologie, oder, wie man es gewöhnlich zu nennen pflegt, irgendeiner biologischen Disziplin. Vom Standpunkte dieses unseres logischen Systems der Biologie wäre also eine besondere Disziplin ein solcher Teil der Biologie, der einen von jenen sieben materiellen Gesichtspunkten umfaßt oder eine jener beiden Methoden betätigt. Es existieren aber zahlreiche biologische Disziplinen, die nicht nach dem soeben dargelegten logischen System orientiert sind. Und um uns über die logische und methodologische Natur solcher gegenwärtig als besondere Disziplinen anerkannter Teile der Biologie klar zu werden, müssen wir zunächst nachzuweisen versuchen, welche Kriterien bei der Individualisierung jener Disziplinen maßgebend gewesen sind, oder es zu sein pflegen.

6. Was sind besondere Disziplinen im praktischen Sinne.

Es soll zunächst an einigen Beispielen gezeigt werden, wie gegenwärtig besondere Disziplinen charakterisiert werden. Es gibt Disziplinen, die nach dem besonderen Objekte, mit dem sie sich be-

schäftigen, von den übrigen unterschieden werden. Wir nennen als Beispiele die Ornithologie, die Entomologie. Innerhalb der Entomologie kann eigentlich noch eine Lepidopterologie, eine Coleopterologie usw. ausgesondert werden, und zwar ganz mit der gleichen Berechtigung, mit der die Entomologie aus der Gesamtzoologie ausgeschieden wird. Denn es ist ja selbstverständlich, daß es nicht unbedingt eine besondere Klasse im Sinne der Klassifikation zu sein braucht, um die Abspaltung einer besonderen Disziplin berechtigt erscheinen zu lassen. Es kann also unter Umständen auch nur eine besondere Ordnung sein, ja sogar eine besondere Familie (Hominidae) oder Gattung, wie das Beispiel der „Anthropologie“ zeigt. Innerhalb der Ornithologie könnte man an die „Oologie“ erinnern als Beispiel einer Disziplin, die nicht einmal eine bestimmte Gruppe des Tierreichs, sondern nur ein bestimmtes Organ, ja eigentlich eine bestimmte Zelle der Tiere einer gewissen Klasse zum Gegenstand hat.

Es braucht kaum besonders bewiesen zu werden, daß vom Standpunkte unseres logischen Systems der Biologie auf jede solche Disziplin, die nur eine Anzahl von Tieren, eine Klasse, Ordnung, Familie zu ihrem Gegenstand wählt, alle jene Bestimmungen Anwendung finden, die wir soeben für die Gesamtbilogie abgeleitet haben, d. h. nach unserer Ansicht kann die Ornithologie logisch und praktisch ihre Objekte in biotaktischer oder biophysikalischer Weise studieren und an ihnen die sieben materiellen Probleme erforschen, die Klassifikation, Morphologie, Physiologie, Oekologie, Chorologie, Chronologie und Genetik.

Etwas anders verhält es sich schon im Falle derjenigen besonderen Disziplinen, die sich nicht durch die Zugehörigkeit ihrer Objekte zu einer bestimmten Klasse des Systems herausheben, sondern nach irgendeinem anderen Merkmal definiert sind. Es sei hier als Beispiel auf die Paläontologie verwiesen. Paläontologie, die Wissenschaft von den ausgestorbenen Lebewesen, in unserem Falle Paläozoologie. Von unserem oben dargelegten Standpunkte aus ist in dieser Abgrenzung eines Wissensgebietes nichts über die logische Natur desselben ausgesagt. Weder ist darin eine Charakteristik der formalen Natur der Forschung (ob Biotaxie oder Biophysik), noch eine Angabe bezüglich der materiellen Gesichtspunkte derselben enthalten. Wir müssen also selbst darüber nachdenken. Und da stellt sich für uns bald heraus, daß logisch wenigstens der Anwendung der beiden formalen und aller sieben materiellen Gesichtspunkte auf die ausgestorbenen Tiere nichts im Wege steht. Mit anderen Worten, es lassen sich an ihnen Betrachtungen klassifikatorischer, morphologischer, physiologischer, ökologischer, chorologischer, chronologischer und genetischer Natur anstellen, natürlich mit denjenigen Modifikationen, die der eigenartige Erhaltungszustand dieser Objekte bedingt. Praktisch freilich werden wir nie behaupten, daß die Ichthyosaurier besonders geeignete Objekte für die Durchführung von Stoffwechselversuchen oder zur Nachprüfung der MENDELSchen Regeln abgeben. Da sie aber Tiere sind, so müssen sie sich logisch jenem Schema fügen und der Erforschung nach den sieben materiellen und zwei formalen Gesichtspunkten zugänglich sein.

Wie ist es aber zu erklären, daß die Paläontologie doch eine besondere Disziplin ist, daß es doch besondere Institute, Lehrstühle, Vorlesungen usw. für diese besondere Disziplin gibt? Natürlich nur

durch die technischen Umstände der Arbeitsteilung und durch die historischen Umstände der allmählichen Differenzierung eines besonderen Studienggebietes, das uns heute als ein Teil der umfassenden Zoologie erscheint, das aber zur Zeit seiner Entstehung nicht so aufgefaßt werden konnte, weil diese erweiterte Auffassung der Zoologie eben erst neueren Datums ist. Geologen waren es, die die fossilen Reste der Tiere zutage gefördert haben und sie zunächst zu bearbeiten begannen. Die Petrefaktenkunde galt ihnen als ein Hilfsmittel zur Altersbestimmung der Schichten sedimentärer Gesteine. Heute wird der Ausdruck „Petrefaktenkunde“ fast nie mehr gebraucht und die Paläontologie, die sich daraus entwickelt hat, erscheint kaum mehr als Anhang der Geologie. So vollzieht sich eine Verschiebung im Sinne einer Emanzipation von den technisch-historischen Momenten und eines engeren Anschlusses an die logisch verwandte übergeordnete Wissenschaft — die Zoologie.

In etwas anderer Weise läßt sich eine derartige Evolution an einem anderen Wissenszweige beobachten. Ich meine die Embryologie. Die Absonderung dieser Disziplin ist nicht durch die Zugehörigkeit ihrer Objekte zu einer besonderen Klasse des Systems, sondern durch das gemeinsame Merkmal dieser Objekte bedingt, daß sie sich alle in einem unreifen Zustande befinden, oder daß sie noch nicht jenes Aussehen erlangt haben, das üblicherweise als das Normale für die Geschöpfe ihrer Species gilt. Die Definition sieht in dieser Form etwas unbestimmt aus, sie ist es aber notgedrungen, weil das Objekt eben unscharf umschrieben ist. Man denke nur, daß die Aneinanderreihung embryonaler Zustände bei den einzelnen Arten in so ungleichem Verhältnis zum definitiven Zustand steht, je nachdem es sich um Fälle von direkter Entwicklung oder Metamorphose, um ovipare oder vivipare Arten usw. usw. handelt. Da ferner bei den Tieren auch nach dem als „Geburt“ bezeichneten Moment noch mannigfache Rück- und Fortbildungen von Organen stattfinden, so ist die Grenze äußerst unsicher. Da nun vom Standpunkte des oben entwickelten logischen Systems sich an Embryonen von Tieren sowohl morphologische, als physiologische und ökologische Untersuchungen durchführen lassen, da die Befunde für die Zwecke der Klassifikation verwertet und bei den Betrachtungen über die Genetik im weiteren Sinne (also sowohl die Grundfrage als auch die Frage nach den Stammbäumen und den Faktoren der Entwicklung) sehr wertvoll sein können, so ergibt sich, daß außer der Chorologie und Chronologie alle übrigen fünf materiellen Gesichtspunkte an der „Embryologie“ beteiligt sein können. Und was die formalen Gesichtspunkte anbetrifft, so kann man das Studium der Embryonen sowohl für die Zwecke der Biotaxie, d. h. zur Feststellung der Einheit in der Mannigfaltigkeit (man denke an die Zuteilung der Sacculina und anderer Cirrhipeden zu ihren betreffenden Gruppen auf Grund der embryonalen Zustände), als auch für die Erforschung realer Beziehungen (etwa die Anpassungen pelagischer Larven, die Verschiedenheit der Nordsee- und der Mittelmeerlarve des Polygordius u. a. m.) verwerten. Es erscheint also von unserem Standpunkte durchaus unmöglich, der Embryologie auf Grund einer logisch nachweisbaren Besonderheit die Stellung einer besonderen Disziplin zuzuerkennen. Man muß sich aber daran erinnern, daß die Zoologie einst viel zu eng gefaßt zu werden pflegte und eine derartige inten-

sive Erforschung der sich entwickelnden Lebewesen infolge der Neuheit des von ihr geübten Verfahrens als ein besonderes Wissensgebiet imponieren mußte. Von unserem Standpunkt aus ist es daher völlig belanglos, ob man die „Embryologie“ der „Morphologie“ koordiniert oder subordiniert. Manche Autoren streiten auch heute noch darüber. BRAUS schreibt in seinen „Experimentellen Beiträgen zur Morphologie“, 1906, S. 9: „Ich will hier nur vorausschicken, daß in der embryologischen Methode eine besondere Möglichkeit morphologischer Forschung gegeben ist, welche von der vergleichend-anatomischen, d. h. der von fertigen Objekten ausgehenden Betrachtung prinzipiell verschieden ist. Es war also ein wesentlicher Fortschritt, die vergleichende „Anatomie“ auf die fertigen Formen zu beschränken und dadurch das Eigenartige sich entwickelnder Formen deutlicher hervortreten zu lassen, wenn auch die Wertung der Stellung beider Forschungsrichtungen zueinander noch zu Bedenken Anlaß gibt (siehe nächstes Kapitel). Ganz verfehlt ist es dagegen, nachdem einmal dieser Fortschritt erzielt ist, wiederum die Ontogenie der vergleichenden Anatomie als einer morphologischen Hilfswissenschaft subsumieren zu wollen, wie es DRIESCH getan hat.“

Nun, unseres Erachtens ist eine solche Subsumption schon deshalb unrichtig, weil man erstens an den „Embryonen“ nicht bloß „Morphologie“ studieren kann und weil man zweitens beim Studium der „vergleichenden Anatomie“ sich nicht auf die ausgewachsenen Tiere beschränken kann. Aber was in aller Welt vermag aus der Erforschung der Gestalt, der Lebensvorgänge und Anpassungen eines Tieres eine logisch selbständige Disziplin zu machen einzig und allein aus dem Grunde, weil das Tier noch nicht „erwachsen“ ist?

7. Aus der Geschichte der vergleichenden Anatomie (von SEVERINO bis GEGENBAUR).

Im vorstehenden wurde die Stellung der Morphologie im System der biologischen Wissenschaften unter normativen Gesichtspunkten dargestellt, d. h. wir gingen von bestimmten Voraussetzungen aus und suchten zu zeigen, wie sich unter der Annahme dieser Voraussetzungen die Morphologie zum Gesamtgebiet, dessen Teil sie darstellt, verhalten muß. Jene Voraussetzungen, die dem entwickelten System der Biologie zugrunde liegen, sind 1) daß die Morphologie ein integrierender Bestandteil der Zoologie ist; 2) daß die Einteilung der zoologischen Forschung nach der Methode von der Einteilung der Zoologie nach dem Inhalt der Probleme gesondert werden muß; 3) daß die technischen Momente, die die Art und die Behandlung der Objekte betreffen (also ob zergliedert wird oder nicht, ob es sich um ein ausgewachsenes Tier handelt oder um ein junges, ob es ein fossiles oder ein noch lebendes Tier ist), daß alle diese Momente nicht zu Kriterien der logischen Abgrenzungen gehören; 4) daß endlich auch die praktischen Rücksichten auf die Verteilung der Fächer in den Fakultäten, auf ihre Anwendungen in der Heilkunde usw. bei den Erörterungen über die logischen Grundlagen eines Wissensgebietes und über seine Beziehungen zu den Nachbargebieten außer acht gelassen werden müssen.

Wenn wir daneben den gegenwärtigen Stand der Frage nach der Stellung der Morphologie zu den übrigen Gebieten der Biologie,

wie er sich aus den Äußerungen der Autoren in der Literatur ergibt, betrachten, so zeigt sich, daß die Situation durchaus nicht so klar ist, wie man nach dem Vorstehenden annehmen möchte. Auf der einen Seite die Mehrzahl der Zoologen, die die „Morphologie“ mit „vergleichender Anatomie“ identifizieren und dabei zunächst diesen Wissenszweig mehr nach technischen als nach logischen Kriterien von allen übrigen absondern, indem sie ihn der „deskriptiven Anatomie“ entgegenstellen. Da aber eine deskriptive Anatomie der Tiere ja gar nicht existiert, so gewinnt jene Gegenüberstellung nur dann einen Sinn, wenn man sie auf die „deskriptive Anatomie des Menschen“ bezieht. Bedenkt man aber, wie sicher heutzutage die Abgrenzung der Zoologie von der Medizin ist und wie fortschrittlich die „Anthropotomen“ selbst sind, die ja den Bau des Menschen im Zusammenhang mit seiner Stellung in der Natur studieren, so gewinnt man den Eindruck, daß jene Interpretation der „vergleichenden Anatomie“ als des Antipoden der „Anatomie“ schlechthin keinem wirklichen Bedürfnis der heutigen Wissenschaft entspricht.

Wenden wir uns dem Inhalte selbst zu, so ist es die Ansicht jener Mehrzahl der Zoologen, daß die Morphologie nur die Aufgabe habe, die Einheit in der Mannigfaltigkeit der Tiergestalten nachzuweisen. Es werden die Organe der Tiere in Reihen geordnet und die mannigfachen Modifikationen einer und derselben Wesenheit darin gesucht. Der Grundbegriff der so aufgefaßten Morphologie ist derjenige der Homologie. Es handelt sich aber nicht um die Reihen physiologisch gleichbedeutender, sondern um die Reihen gestaltlich gleichwertiger Organe. „Homologie und Analogie sind daher zwei scharf gesonderte Begriffe, von denen der eine die Beziehung des Organs zu seiner Genese, der andere jene zu seiner Verrichtung zum Objekte hat“ (GEGENBAUR). Für die Homologisierung zweier Formgebilde kommt es natürlich nicht auf die Funktion an: so werden die oberen Schneidezähne verschiedener Säugetiere miteinander homologisiert, trotzdem sie in den einzelnen Ordnungen verschieden funktionieren. Maßgebend ist aber, daß sie alle im Os praemaxillare, im Zwischenkieferknochen sitzen. Auch auf die Größe kann es nicht ankommen, sondern nur auf die Art der Verbindung mit anderen Teilen in allen Phasen des individuellen Entfaltungsprozesses. So ist es im allgemeinen anerkannt, daß die Halsrippen der Säugetiere den übrigen Rippen homolog sind, trotzdem sie frühzeitig mit den Wirbeln verwachsen und nur als Fortsätze derselben erscheinen. Je heterogener anscheinend die Gebilde sind, deren Homologie nachgewiesen werden kann, desto größer der Triumph und die Einschätzung des Wertes der ganzen Methode. Nach der obigen Definition der oberen Schneidezähne der Säugetiere sollte bei Tieren, die kein Praemaxillare haben, auch von Schneidezähnen nicht die Rede sein. Ein solches Tier ist der Mensch; und der Nachweis, daß es beim Menschen ebenfalls einen Zwischenkiefer gibt (GOETHE, VICQ D'AZYR), bildet einen Markstein in der Entwicklung der Morphologie, ja in einem gewissen Sinne vielleicht den Ausgangspunkt dieser Wissenschaft.

GEGENBAUR unterschied schon 1870 verschiedene Arten der Homologie: Allgemeine Homologie — „wenn ein Organ auf eine Kategorie von Organen bezogen wird, oder wenn ein damit verglichenes Einzelorgan nur als Repräsentant einer solchen Kategorie zu gelten hat“. Diese Art der Homologie zerfällt dann noch in vier

Unterkategorien: 1) Homotypie, das ist z. B. das gegenseitige Verhalten der Organe in den beiderseitigen Körperhälften, linkes und rechtes Ohr, Auge usw. 2) Homodynamie, diese Bezeichnung gilt für das morphologische Verhältnis der aufeinanderfolgenden Segmente des metameren Körpers von Wirbeltieren, Gliederfüßlern usw. 3) Homonomie, für die Finger einer Hand, resp. die Zehen eines Fußes. 4) Homonymie, für Teile, die durch Gliederung sekundärer Körperteile entstanden sind, so z. B. für die einzelnen Abschnitte der Gliedmaßen.

Spezielle Homologie, oder Homologie im engeren Sinne — „das Verhältnis zwischen zwei Organen, die gleiche Abstammung besitzen, somit aus der gleichen Anlage hervorgegangen sind“. Hier unterschied GEGENBAUR noch die komplette und inkomplette Homologie. Komplette Homologie weisen die Oberarmknochen aller Wirbeltiere von den Amphibien bis zu den Säugetieren auf. Inkomplette Homologie besteht z. B. zwischen dem Herzen der Fische und demjenigen der Säugetiere, da bei letzteren zu den schon von den Fischen her bekannten Teilen noch neue hinzutreten. In anderen Fällen ist die Homologie inkomplett infolge der Verminderung der Bestandteile eines Organs. — So weit die GEGENBAURschen Begriffsbestimmungen.

In neuester Zeit hat BÜTSCHLI unter homonomen Organen alle homologen Organe eines und desselben Individuums verstanden und hervorgehoben, daß jener subtilen Unterscheidung von homotypen, homonymen und homodynamen Organen „für das tiefere Verständnis kein großer Wert zukommt“ (Vorlesungen über vergleichende Anatomie, 1910, S. 11).

Auch für die methodologische Betrachtung sind jene Unterscheidungen weniger von Belang als die Grundfrage nach den Kriterien der Homologie. Schon in der oben zitierten Definition von GEGENBAUR ist mit Homologie „die Beziehung des Organs zu seiner Genese“ gemeint. Die Genese kann aber in zweifacher Weise interpretiert werden. Wenn es sich um die Genese des Individuums handelt, dann sind die Befunde an Embryonen die Hauptquelle für die Feststellung der Homologie. Doch ist diese Quelle nicht immer allein maßgebend, wenn es sich um die Feststellung von speziellen Homologien handelt (was nach GEGENBAUR einen großen Teil der Hauptaufgabe der vergleichenden Anatomie bildet). Ich führe nur ein Beispiel an: die allgemeine Homologie der Stoßzähne des Elefanten mit den Schneidezähnen anderer Säugetiere gilt schon lange als sicher; aber welchem von den drei oberen Schneidezähnen ist der Stoßzahn des Elefanten „speziell homolog“. Erst die Auffindung des fossilen Moeritherium hat hier einen Einblick gewährt und die höchste Wahrscheinlichkeit dafür gebracht, daß der Stoßzahn des Elefanten dem zweiten Schneidezahn der anderen Säugetiere entspricht. Das Beispiel zeigt zugleich, daß unter der „Genese“ der homologen Organe nicht nur die „individuelle Genese“ verstanden wird; bei der Herrschaft deszendenztheoretischer Anschauungen ist es naheliegend, die homologen Organe aller Kategorien von gemeinsamen Stammorganen der Vorfahren herzuleiten.

In der Mehrzahl der Fälle hält man sich bei der Ableitung der Homologien in den Grenzen der einzelnen Typen, und das war gerade um die Mitte des vorigen Jahrhunderts ein Vorteil der neuen Methode gegenüber den oberflächlichen und sehr gewagten Annähe-

rungen zwischen verschiedenen Typen, die sich meist als „Analogien“ erwiesen. Und doch gibt es wieder einige Homologien (so z. B. die Herleitung der Metamerie, der Leibeshöhle usw.), bei denen man bewußt über die Grenzen der einzelnen Typen hinausgeht.

Auf der anderen Seite gibt es eine Minderheit von Zoologen, die die Feststellung der Homologien für eine minderwertige Arbeit hält, weil sie nicht die Erforschung der Einheit in der Mannigfaltigkeit als die Hauptaufgabe der Morphologie betrachtet, sondern die Feststellung der Gesetze „des allgemeinen Sich-Entwickelns“ (DRIESCH). Der hervorragendste von diesen Zoologen, DRIESCH, schrieb bereits 1899: „Wir — zahlreich sind wir eben nicht — haben nicht „eine“ Methode der wissenschaftlichen Morphologie, sondern die wissenschaftlich-morphologische Methode.“ — Die Vertreter dieser Richtung weisen darauf hin, daß die auf „Vergleichung“ gegründete Bildung allgemeiner Begriffe nicht in einer Merkmalsgeneralisation, sondern in einer Weglassung der unterscheidenden Merkmale der Einzeldinge bestehe. Während man also bei den Generalisationen der Mathematik, etwa bei den verschiedenen Einzelformen der Kegelschnitte, durch Einsetzung gewisser Werte aus der allgemeinen Formel die einzelnen gewinnen kann, so ist bei den zusammenfassenden Begriffen der Biologie der Inhalt um so ärmer, je weiter der Umfang.

Die ablehnende Haltung gegenüber der Deszendenztheorie ergibt sich für diese Richtung von selbst: wenn schon die Feststellung der Verwandtschaft der Tiere im System so gewagt erscheint, so ist es ganz unzulässig, von der Abstammung der Arten zu sprechen, so lange man nicht die Einsicht in die Notwendigkeit der Umbildungsprozesse gewonnen hat.

Da diese Schule der „Entwicklungsphysiologen“ und „Entwicklungsmechaniker“ bei ihrer Stellungnahme gegenüber der herrschenden Richtung sich auf logische Argumente stützt, so sucht sie den Gegensatz zwischen sich selbst und der herrschenden Richtung der Morphologie darin, daß letztere „vergleichend“ arbeitet und stellt sich ihr als „experimentelle“ Richtung entgegen. So windet sich ein Knäuel von Mißverständnissen um die heutige Morphologie: die einen identifizieren sie mit „vergleichender Anatomie“ und meinen damit nur den technischen Gegensatz zur deskriptiven Anatomie des Menschen; die anderen verwerfen dieselbe Morphologie, weil sie sich quasi logisch als „bloß vergleichend“ charakterisiere!

Wer sich in diesem Widerstreit der Meinungen ein selbständiges Urteil bilden will, der muß vor allem möglichst kritisch sein in der Verwendung der in Gebrauch befindlichen Begriffe, wie „vergleichende Anatomie“, „Phylogenie“ u. a. m. Diese Begriffe sind, wie auch manche andere, zu einer bestimmten Zeit entstanden und haben seitdem ihren Inhalt zum Teil stark geändert, so daß man damit nicht einheitliche Dinge bezeichnet. Nichts ist geeigneter, uns ein klares Urteil über die Frage zu verschaffen, als ein historischer Rückblick, in dem wir die Sache selbst und nicht die Namen sprechen lassen. Wir müssen uns klar zu machen versuchen, wie man sich das Wesen der Formenwissenschaft in verschiedenen Stadien der Entwicklung der Zoologie vorstellte und wie es zum gegenwärtigen Zustand gekommen ist.

Die ersten Jahrhunderte der zoologischen Wissenschaft nach dem Wiedererwachen der Wissenschaften in der Neuzeit kannten noch keine Differenzierung einzelner Gebiete im Bereiche der Gesamtwissenschaft, der Tierkunde. Es war die sogenannte „Periode der Zoographie“, die Zeit der dickleibigen Sammelwerke, in denen wirkliche und fabelhafte Tiere nach ihrem Aussehen, ihren Gewohnheiten, ihrem Nutzen und Schaden geschildert wurden. Zu gleicher Zeit wurde aber auch schon die Zergliederung von Tieren ziemlich intensiv betrieben, doch fast ausschließlich im Interesse der Heilkunde. Im 17. Jahrhundert erscheint ein Werk, das die erste abgegliederte zoologische Disziplin repräsentiert, die Zootomia oder Theriotomia (MARCO AURELIO SEVERINO, *Zootomia democritaea*, 1645, die ausdrücklich neben die Androtomie gestellt wird. Es ist charakteristisch, daß der erste Versuch einer Isolierung einer „Disziplin“ von dem technischen Moment als Kriterium ausgeht. Dort schneidet man die Tiere nicht (wie sollte man auch das Einhorn und den Phönix schneiden!), hier schneidet man sie.

Die Berechtigung dieser Art von intensiver, aber auch einseitiger Beschäftigung mit den Tieren wird durch den Nutzen derselben zu begründen gesucht. Die Zootomie sei nützlich für die Psychologie und Technik, für Ethik und Religion (die Laster und Leidenschaften des Menschen finden sich in ausgeprägter Form bei Tieren: die Tücke im Fuchs, der Zorn im Löwen, die Dummheit und Trägheit im Esel usw. Gottes Weisheit und Vorsehung gehe aus der Organisation der Tiere, besonders der kleineren: Bienen, Flöhe usw. hervor. Die Kiefer seien das Prototyp der Zange, das Infundibulum dasjenige des Trichters, die Eingeweide dasjenige der Kochkunst (!) usw.). Daß die Zootomie außerdem für die praktische Medizin, für die Verteidigung des HIPPOKRATES und GALEN, für die Beurteilung der Temperamente, der Säfte usw. nützlich sei, das gibt ihr noch mehr Berechtigung, als besonderes „Fach“ angesehen zu werden.

Das neue „Fach“ Zootomie, für dessen Abgliederung ein technisches, nicht ein logisches Moment maßgebend war, ist logisch gesprochen eine Sammlung von Stoff, der für verschiedene von den oben namhaft gemachten Zweigen der Biologie verwertet werden kann. Die „Ergebnisse der Zootomie“ lassen sich für die Systemkunde, für die Physiologie, für die Formenwissenschaft, für die Oekologie und für die Genetik verwerten. In jener Zeit, da sich die Systemkunde als ein logisch definierter Zweig eben von der „Naturgeschichte“ abzugliedern begann (die Historiker lassen die Periode der Systematik mit RAY beginnen), um sehr bald unter LINNÉ und KLEIN eine sehr einseitige Richtung einzunehmen; in einer Zeit, wo von Morphologie, Oekologie und Genetik als besonderen Problemen der Biologie noch keine Rede sein konnte, da mußte die Zootomie eine einseitig-physiologische Verwertung erhalten. Man suchte im Bau der Tiere Aufschluß über die Lebensvorgänge des Menschen. Die Zootomie war nicht ein Teil der Zoologie, der Naturgeschichte, wie man es vom heutigen Standpunkt aus leicht anzunehmen geneigt wäre. Und da damals unter Anatomie so viel wie „Anatomie des Menschen“ verstanden wurde, so konnte sich für die neue Disziplin nicht etwa der Name „Anatomie der Tiere“ eignen. Die fortwährende Bezugnahme auf den Menschen und seinen Bau ließ die Bezeichnung „vergleichende Anatomie“ aufkommen.

Auch WILLIS, in dessen Schriften über die „Anatomie des Gehirnes“ und „über die Tierseele“ der Name „vergleichende Anatomie“ zum ersten Mal in dem seither üblich gewordenen Sinne gebraucht wird (in anderem Sinne soll ihn schon BACO gebraucht haben), hält „eine vielseitige und vergleichende Anatomie für unumgänglich nötig zur näheren Erkenntnis des Lebensprinzips“. Mehr als SEVERING (der die Helix unter den Vierfüßern beschreibt), soll WILLIS von der Einheit des Organisationsplanes in weiten Kreisen des Tierreichs geahnt haben. Aber auch ihm ist diese „vielseitige und vergleichende Anatomie“ nur „Helferin bei seinen anthropologisch-psychologischen Untersuchungen“.

Das 1685 erschienene „System der Anatomie“ von SAMUEL COLLINS bringt nach jedem Abschnitt der menschlichen Anatomie (z. B. über die Haut) eine Darstellung des betreffenden Organsystems anderer Lebewesen, z. B. der Haut der Fische, Schattiere und Insekten, der Cuticula und Rinde der Pflanzen. Diese Anordnung ist zum Prototyp für zahlreiche Werke aus dem ganzen 18. und aus dem Anfang des 19. Jahrhunderts geworden, nur sind ziemlich bald die Pflanzen weggeblieben.

Typisch für diese Phase der Entwicklung ist BLUMENBACHS „Handbuch der vergleichenden Anatomie“, das erste deutsche Handbuch dieser Disziplin (1805). Es zerfällt in vier Teile: Osteologia comparata, Functiones naturales, Functiones animales und Functiones genitales. Der erste Teil behandelt das Gerippe der Säugetiere, Vögel, Amphibien und Fische. Der zweite Teil behandelt in zehn Kapiteln folgende Organe: Schlund und Magen, Darmkanal, Leber, Milz und Netz, Harnwege, äußere Bedeckungen, mancherlei besondere Sekretionen, Herz und Blutgefäße, absorbierende Gefäße, Respirationswerkzeuge, Stimmwerkzeuge. Von jedem Organ wird seine Beschaffenheit bei den Säugetieren, Vögeln, Amphibien, Fischen, Insekten und Würmern dargestellt. In ähnlicher Weise werden in den beiden letzten Teilen das Nervensystem, die Sinnesorgane und die Reproduktionsorgane behandelt. Es ist also der Aufzählung der Befunde das LINNÉsche System zugrunde gelegt. Die zweite Auflage 1815 zeigt fast keine Änderung, nur sind die lateinischen Ueberschriften der vier Teile weggefallen, so daß nur die 27 Kapitelüberschriften die Gliederung des ganzen Werkes anzeigen.

Für die weitere Entwicklung war der Weg insofern vorgezeichnet, als sich mit dem Fortschritt der Wissenschaft eine innigere Wechselbeziehung zwischen Systemkunde und Zootomie herausbilden mußte. War doch für die Darstellung der Befunde der Zootomie in erster Linie die physiologische Klassifikation der Organe, in zweiter Linie das herrschende zoologische System maßgebend. Dieser Rahmen des Systems mußte sich mit der Vervollkommnung der zoologischen Klassifikation immer verbessern. Da aber die Vervollkommnung des Systems (im Gegensatz zu LINNÉ und KLEIN) auf der steigenden Berücksichtigung des inneren Baues beruhte, so stammte dieser Fortschritt des Systems von der Zootomie selbst her. War ein Zootom nicht bloß Anthropotom, so konnte er nicht in seinen Anforderungen an die Grundlagen des Tiersystems so gleichgültig sein, wie BLUMENBACH, für den noch 1815 LAMARCK und CUVIER mit ihren Bestrebungen auf dem Gebiete der Tiersystematik noch nicht existiert zu haben scheinen. Hatte also ein Zootom bestimmte Anschauungen

über die zweckmäßigere Art der Gruppierung der Tiere, so mußte er suchen, diese bessere Einsicht in der Anordnung des Stoffes in der „vergleichenden Anatomie“ zu verwerten und die Gruppierung der Klassen und Ordnungen eben auf diese „vergleichende Anatomie“ zu gründen. Den Gipfel dieser Bestrebungen sehen wir in der wissenschaftlichen Arbeit CUVIERS.

CUVIER wird heute noch von vielen als der Begründer oder der Neubegründer der vergleichenden Anatomie bezeichnet. Vor 55 Jahren schrieb man CUVIER das Verdienst zu, die Zoologie mit der vergleichenden Anatomie vereinigt zu haben. „Will man mit einem Worte die Aufgabe bezeichnen, die er sich gestellt, so war es die Verschmelzung der Zoologie mit der vergleichenden Anatomie; das Heil beider Disziplinen sah er nur in der gegenseitigen Durchdringung derselben, und wenn er in einem Briefe an PFAFF schreibt: den Systemen spreche ich keineswegs ihren Nutzen ab, sie sind die Lexika der Naturgeschichte, aber wann wird man einmal die Sprache reden? — so suchte er sich in Besitz dieser Sprache zu setzen, indem er die Natur der Tiere aus dem Gesamthabitus studierte“ (O. SCHMIDT, Die Entwicklung der vergleichenden Anatomie, S. 109). — Ich glaube, daß in diesen Zeilen die Bedeutung der CUVIERSchen Wirksamkeit nicht genau charakterisiert wird. Sie ist vielmehr so zu charakterisieren: CUVIER, der über ein ungeheures Tatsachenmaterial aus der Anatomie der lebenden und fossilen Tiere verfügte, suchte die Ergebnisse der Zootomie, die früher fast ausschließlich im Dienste der Physiologie verwertet zu werden pflegten, für die Vertiefung des Klassifikationsverfahrens zu verwerten. Davon kann sich jeder überzeugen, der die Einleitung zu seinem „Tierreich“ und zu seiner „vergleichenden Anatomie“ aufmerksam durchliest.

In den einleitenden Abschnitten des ersten Bandes der „vergleichenden Anatomie“ wird erklärt, daß „die Verschiedenheiten in den Organen von einer und derselben Art gerade den Gegenstand der vergleichenden Anatomie bilden“ (wozu der Uebersetzer des ersten Bandes, FRORIEP, bemerkt, das Feld der vergleichenden Anatomie sei doch zu beschränkt angegeben). In denselben einleitenden Kapiteln, die die physiologische Korrelationen der Organe behandeln, finden sich Erörterungen der Frage nach den Beziehungen zwischen Anatomie und Naturgeschichte in Sachen der Aufstellung eines natürlichen Systems. Die Anatomie gebe der Naturgeschichte sehr bald das von ihr erhaltene Licht zurück. Von der Einheit des Grundplanes in der Organisation großer Gruppen des Tierreichs finden sich nur schüchterne Andeutungen. Auf S. 483 des ersten Bandes (der deutschen Uebersetzung) wird von den Flügeln der Pinguine gesagt: „Sie sind so klein, daß sie nur da zu sein scheinen, um von den Regeln der Klassenähnlichkeit keine zu auffallende Ausnahme zu machen“ (!).

Selbst in der Aufstellung der vier Typen des Tierreichs kann man nicht die Loslösung der Morphologie, der Wissenschaft von der Gestaltung im Tierreich, als eines selbständigen Gesichtspunktes der Forschung erblicken. Auch CARUS sagt in seiner „Geschichte der Zoologie“, S. 666: „CUVIER selbst gelangte zur Auffassung seiner vier Typen durch rein klassifikatorische Betrachtungen. Die Subordination der Charaktere, welche er überall durchzuführen suchte, ließ ihn zunächst erkennen, daß die LINNÉschen Klassen ungleich-

wertig seien, daß z. B. die Mollusken in ihren verschiedenen Formen gleiche Modifikationen des Baues darbieten, wie die vier Wirbeltierklassen. Es war also in erster Linie ein methodisches Bedürfnis, welches ihn zur Gründung größerer gleichwertiger Abteilungen führte.“

CUVIER hat das natürliche System durch die Anwendung der anatomischen Kriterien auf eine bis dahin nicht geahnte Höhe gebracht. In der Anatomie selbst ist aber, außer dem ungeheuren Zuwachs an neuen Tatsachen, alles beim alten geblieben. CUVIERS vergleichende Anatomie steht methodologisch auf dem gleichen Niveau wie diejenige BLUMENBACHS. CUVIER ist der große Reformator des Systems, aber der Neubegründer der vergleichenden Anatomie ist er nicht.

Es scheint, daß die Erfassung der Probleme der Gestaltung als selbständiger Objekte der Forschung von der Richtung ausgegangen ist, der CUVIER schroff ablehnend gegenüberstand, von der „Schule der Ideen“, die ISIDORE GEOFFROY SAINTE-HILAIRE (in der Biographie seines Vaters) der CUVIERSchen „Schule der Tatsachen“ gegenüberstellt. Zwar wäre zumal für Deutschland hier GOETHE zu nennen, aber GOETHES diesbezügliche Schriften wurden erst später publiziert und seine Ansichten waren zu Anfang des Jahrhunderts nur wenigen bekannt. Mag also GOETHE auch diese oder jene Gedanken zuerst konzipiert haben, die Anregung zur Auffassung der Gestaltphänomene als selbständiger Objekte der Forschung, die Anerkennung dieser Forschungen als einer besonderen Disziplin, neben der Systematik, ging sicher nicht von dem isoliert grübelnden Dichter, sondern von dem Gründer der Schule der „philosophischen Anatomie“, GEOFFROY SAINTE-HILAIRE aus, der über ein großes Material verfügte und eine Anzahl junger Forscher zu ähnlichen Untersuchungen anregte, wie er sie selbst zuerst durchgeführt hatte. Man denke an den Nachweis der Homologien der Anhänge der Insekten durch SAVIGNY und LATREILLE, derjenigen der Krebse durch MILNE-EDWARDS, Forschungen, die nicht nur ihrem Inhalte nach zum dauernden Besitze der Wissenschaft geworden, sondern auch dem Verfahren nach vorbildlich sind. Wenn wir also von vereinzelt Versuchen von GOETHE, VICQ D'AZYR und KIELMAIER absehen, so können wir sagen, daß an der Wende des 19. Jahrhunderts durch ETIENNE GEOFFROY SAINTE-HILAIRE die Erforschung der Erscheinungen der Form im Tierreiche als ein selbständiger, von allen anderen logisch unabhängiger Gesichtspunkt der Biologie erfaßt wurde.

Nach der Darstellung des Lebens und Wirkens von ETIENNE GEOFFROY durch seinen Sohn ISIDORE scheint es, daß wir in der wissenschaftlichen Arbeit jenes Mannes, den ich als den eigentlichen Begründer der Morphologie betrachte, eine der denkwürdigsten Erscheinungen in der Geschichte der Zoologie zu erblicken haben. Denn noch nie vorher ist eine mit glänzenden äußeren Mitteln ausgestattete jahrzehntelange Spezialarbeit eines Forschers so ganz in den Dienst einer Idee gestellt worden, wie bei GEOFFROY. Diese Idee war die „Einheit des Bauplanes“ (Unité de Composition). Es ist von ISIDORE GEOFFROY hervorgehoben worden, wie alle Arbeiten seines Vaters, selbst diejenigen, die anscheinend zu der Grundidee in keiner näheren Beziehung stehen, sich einem gewissen einheitlichen Plan unterordnen. Seine embryologischen Forschungen, seine

grundlegenden teratologischen Arbeiten, die Untersuchung der fossilen Reptilien, die Betonung des Wertes der rudimentären Organe, alles das lieferte ihm Stoff für die Erfüllung der Aufgabe, die er als Einfügung der einzelnen Bausteine in das Gebäude wissenschaftlicher Schlußfolgerungen bezeichnete. „L'anatomie fut longtemps descriptive et particulière; rien ne l'arrêtera dans sa tendance pour devenir générale et philosophique.“

Es bedurfte eines neuen Namens, um diese Art der Forschung von der althergebrachten „vergleichenden Anatomie“ abzugrenzen. GEOFFROY nannte sie „philosophische Anatomie“. Dieser Name war auch in Deutschland einige Zeit in Gebrauch, doch wurde er ziemlich bald durch den auf deutschem Boden entstandenen, von GOETHE geprägten Namen „Morphologie“ verdrängt.

Heute ist es wohl vielen unbekannt, daß um die Mitte des Jahrhunderts selbst in Deutschland viele Forscher zwischen der „Morphologie“ (resp. „philosophischen Anatomie“) und jener alten „vergleichenden Anatomie“ wohl zu unterscheiden wußten¹⁾.

Schon damals war es für viele kein Geheimnis, daß mit der Aufstellung der Morphologie als einer besonderen Wissenschaft von den Gesetzmäßigkeiten der Gestalt jene älteren Darstellungen der „vergleichenden Anatomie“ von COLLINS bis BLUMENBACH, CUVIER und MECKEL und bis zu den noch neueren von WAGNER, SIEBOLD und STANNIUS, daß sie alle mehr oder weniger physiologische Deutungen der Befunde der deskriptiven Anatomie der Tiere darstellten. Einige Autoren zeigten sich konsequent genug, um dieser Einsicht auch äußerlich Ausdruck zu verleihen. R. WAGNER taufte sein 1834 erschienenes „Handbuch der vergleichenden Anatomie“ in der zweiten Auflage (1843) in „Lehrbuch der Zootomie“ um. SIEBOLD und STANNIUS taten dasselbe mit ihrem Lehrbuch der vergleichenden Anatomie (in zweiter Auflage als Lehrbuch der Zootomie). Aber noch bevor sie ihre Namen änderten, suchten sich die neueren Lehr- und Handbücher der neu aufgetauchten Auffassung in der Weise anzupassen, daß sie den ganzen Stoff nicht mehr nach den Organen und Organsystemen, sondern nach den Klassen zunächst einteilten, und erst innerhalb der einzelnen Klasse die Hautbedeckung, das Muskelsystem, das Nervensystem, das Verdauungs-, Zirkulations-, Respirations-, Exkretions- und Reproduktionsystem durchgingen. Im Vorwort zu SIEBOLDS „Wirbellosen Tieren“ 1848 finden wir diese Neuerung hervorgehoben. Damit ist anerkannt, daß der (rein physiologische) Vergleich der Haut des Menschen mit derjenigen der Koralle in einem Werke, das sich an die Morphologie anzulehnen sucht, keinen Erkenntniswert besitzt.

Es ist also Tatsache, daß zu einer bestimmten Zeit der Begriff der „vergleichenden Anatomie“ zu eng geworden ist, um die neu aufgetretenen Forschungsaufgaben zu umfassen. Es ging nicht an, die neue „Morphologie“ mit einem alten Wissensgebiet zu identifizieren, das wesentlich verschieden ausgesehen hatte, wenn es auch gewisse Elemente der Morphologie in sich enthielt, vor allem aber den Rohstoff für die Morphologie zu liefern hatte.

1) CARUS schrieb 1853, in der vergleichenden Anatomie sei ja alles unverbunden nur nebeneinander gestellt, dagegen verdiene allein die philosophische Anatomie den Namen einer Wissenschaft (System der Morphologie, S. 26).

Was war aber die Aufgabe dieser Morphologie? Es läßt sich nachweisen, daß GEOFFROY seiner philosophischen Anatomie nicht bloß die Aufgabe stellte, die Einheit in der Mannigfaltigkeit auszuspielen, sondern auch die andere, die Gesetze der Bildung der Gestalt unter der Einwirkung verschiedener Faktoren festzustellen. Es dürfte vielleicht weniger bekannt sein, daß er sogar versuchte, auf künstlichem Wege einen Vogel an der Ablage der Eier zu verhindern, um die Einflüsse dieser „Bebrütung im Innern des Eileiters“ auf den Verlauf der Entwicklung zu studieren (vgl. CUVIER, Geschichte der Naturwissenschaften, Bd. 4, S. 43). Es muß aber bemerkt werden, daß die unvorsichtige Art der Anwendung der Anschauungen über formbildende Faktoren auf die Probleme der Entstehung ganzer Tierklassen in der Vergangenheit dieser Seite der GEOFFROYschen Lehre sehr geschadet hat. Sachlich hat ja GEOFFROY auch in dem Nachweis der Einheit in der Mannigfaltigkeit manches Mal geirrt. Es entspricht aber dem ganzen Stande der damaligen Wissenschaft, daß es auf diesem Gebiete den Forschern leichter war, die Unrichtigkeit der einzelnen Resultate nicht auf die ganze Methode zu beziehen, wie es ISIDORE GEOFFROY ausführlich darlegt (S. 220 der zit. Biographie).

Auch in Deutschland gab es zunächst noch einige Forscher, die die Fragen nach den bewirkenden Faktoren der Gestaltbildung mit in den Kreis der Probleme aufnahmen. J. F. MECKEL (der bei CUVIER gearbeitet und an der Uebersetzung von dessen Vorlesungen über vergleichende Anatomie regen Anteil genommen), hat sich doch in seinem eigenen „System der vergleichenden Anatomie“ zu einem bedeutend höheren Standpunkte aufgeschwungen. Der erste Band dieses Werkes enthält eine Anzahl beachtenswerter Ansätze zu einer neuartigen „Morphologie“, während in den übrigen Bänden die Darstellung auf dem Niveau der CUVIERSchen vergleichenden Anatomie steht. In jenem ersten Bande sind unter dem Titel „Gesetz der Mannigfaltigkeit“ und „Gesetz der Reduktion“ Betrachtungen über die Ursachen der gestaltlichen Verschiedenheiten enthalten, die sich auf die Altersdifferenzen, Geschlechtsdifferenzen, periodische Formverschiedenheiten, Einwirkung äußerer Kräfte, wie Licht, Wärme, Feuchtigkeit, Elektrizität, Einfluß der Bastardierung usw. beziehen.

Dies waren aber nur vereinzelte schwache Ansätze. Demgegenüber gab es zahlreiche Faktoren, die es bewirken mußten, daß der neue Wissenszweig „Morphologie“ sich nur auf einen der beiden ihm zukommenden Wege konzentrierte, nämlich auf das Aufsuchen der gemeinsamen Züge im Bauplan, während die Forschung nach den realen Beziehungen der Gestaltung immer mehr in den Hintergrund gedrängt wurde. Ich kann hier nicht alle Faktoren aufzählen und auch die wenigen können nur kurz angedeutet werden. Da ist vor allem der Einfluß der Naturphilosophie, die das Aufsuchen der „Einheit im Bauplan“ weit mehr begünstigte als die zu aktivem Eingreifen führende Verfolgung der realen Beziehungen der Gestalt. Daß gerade die begrifflichen Beziehungen in der naturphilosophischen Periode im Vordergrund des Interesses gestanden, daß sie sogar ins Extrem ausarteten, ist ja hinreichend bekannt. Sehr mächtig wirkte der andere Faktor, das immer stärkere Hervortreten der Embryologie, bei der ja die Gleichheit der äußeren Faktoren sozusagen eine stillschweigende Voraussetzung ist und die ganze Aufeinanderfolge der Formzustände weit mehr von den in der „Anlage“ verkörpert

formalen, begrifflichen Beziehungen der Teile, als von den Bewirkungen aktueller Faktoren abzuhängen scheint. Einen wichtigen Einfluß hatte auch die konsequente Betonung des Unterschieds zwischen Homologie und Analogie, da das immer wieder den Geist des Forschers zwingen mußte, nebst dem Absehen von der Funktion sich ein Absehen von allen sonstigen realen Beziehungen anzuewöhnen und immer nur der ideellen „Verwandtschaft“ der Anlagen seine Aufmerksamkeit zuzuwenden. Indem man den Fehler der einseitig physiologisch orientierten alten „vergleichenden Anatomie“ immer deutlicher einsehen mußte, suchte man sich immer schärfer von der Physiologie loszusagen, damit aber auch zugleich von den realen Beziehungen, deren typische Vertreterin die Physiologie immer gewesen ist und immer bleiben wird. Ein Beispiel zeigt uns das sehr deutlich. Noch 1859 behandelte GEGENBAUR die Bruttaschen und Milchdrüsen der Säugetiere im Kapitel „Fortpflanzungsorgane“ als Hilfsorgane, die dem Schutz und der Ernährung der Brut gewidmet sind. Aber schon 1870 in der zweiten Auflage desselben Werkes stehen diese Organe im Kapitel „Integument“, als „Epidermoidalgebilde“. GEGENBAUR scheint das für so wichtig zu halten, daß er es sogar in seiner Autobiographie unter den von ihm bewirkten Fortschritten in der Behandlung der Wissenschaft anführt (Erlebtes und Erstrebtes, S. 102). „Das die Mammarorgane mit den Geschlechtsorganen behandelt werden, entspricht nur der Physiologie, keineswegs der Anatomie, welche sie mit dem Integumente, als Produkte desselben, kennen lehrt.“

Diese letzte Phase in der Entwicklung der Ansichten über Begriff und Aufgabe der Wissenschaft von den Gestalten im Tierreich könnte man in einem Satze zusammenfassen: Die Wissenschaft von der Gestalt emanzipierte sich von der Systemkunde, von der Physiologie und von der angewandten Zoologie; diese Emanzipation wurde aber um den Preis der Einschränkung ihrer Machtsphäre erkaufte, indem mit der Lostrennung von der Physiologie auch ein Verzicht auf die Erforschung realer Zusammenhänge sich verbunden hat.

In einer Zeit, die auf die logischen Grundlagen ihres Wissenschaftsbetriebes bedacht war, sollte aber eine derartige Einschränkung der Interessensphäre auf eine logische Basis gestellt werden. Dies fand sich erstens in der scharfen Abgrenzung der Morphologie von der Physiologie im HAECKELschen System der Biologie aus dem Jahre 1866 und zweitens in der Gegenüberstellung der „vergleichenden“ und „experimentellen“ Methode, die von nun an als die methodologischen Antipoden ebenso galten, wie die Morphologie und Physiologie die sachlichen Antipoden darzustellen schienen.

Diese Entwicklung vollzog sich allmählich. Es ist interessant, die erste Auflage von GEGENBAURS „Grundzügen der „vergleichenden Anatomie“ aus dem Jahre 1859 mit der zweiten Auflage aus dem Jahre 1870 zu vergleichen. In der ersten Auflage wird nur auf den Unterschied der synthetischen „vergleichenden“ Anatomie von der analytischen „Zootomie“ hingewiesen. In der zweiten wird schon die Morphologie mit der vergleichenden Anatomie fast völlig identifiziert. So heißt es auf der dritten Seite: „Die Erforschung der materiellen Substrate jener Leistungen, also der Formerscheinungen des Körpers und seiner Teile, sowie die Erklärung derselben bildet die

Aufgabe der Morphologie“, und auf S. 6 wird genau dieselbe Aufgabe der vergleichenden Anatomie zugeschrieben: „Die Aufgabe der vergleichenden Anatomie liegt in der Erklärung der Formerscheinung der Organisation des Tierleibes.“ Dabei wird aber gleich hinzugefügt: „Die Methode, die zur Lösung dieser Aufgabe dient, ist die Vergleichung.“ Worin das Wesen des „Vergleichens“ als besonderer Methode liegt, das kann der Leser doch nicht herausfinden, denn auf S. 5 liest man, daß häufig „Darstellungen, die auf nichts weniger als auf vergleichenden Operationen beruhen, für Vergleichen ausgegeben werden. Wenn ein Organ in seinem anatomischen Verhalten beschrieben und vielleicht mit einem seiner Funktion entsprechenden Namen belegt wird, so ist damit noch keine Vergleichung ausgeführt, selbst wenn die Untersuchung über größere Reihen von Tieren sich erstrecken sollte. Denn in dem bloßen Nebeneinanderstellen liegt noch keine Vergleichung; es ist nur die Prätension einer solchen: die Vergleichung will vielmehr erst durch die Erwägung aller morphologischen Instanzen begründet sein.“ — Ich glaube nicht, daß in diesen Worten eine klare Definition enthalten ist. Wenn die Morphologie der „vergleichenden Anatomie“ gleichgesetzt wird, wenn die Aufgabe die Erklärung der Formerscheinung und die Methode die Vergleichung ist, so ist die Definition der „Vergleichung“ durch die morphologischen Instanzen unzulässig. Denn wenn einer wissen will, was diese morphologischen Instanzen denn eigentlich seien, so muß er wieder von vorne anfangen und gelangt dann wieder zu den morphologischen Instanzen und so weiter ad infinitum..... GEGENBAUR scheint J. V. CARUS' wohlgemeinten Rat vergessen zu haben, „mit dem Ausdrücke der ‚Methode der Vergleichung‘ so sparsam wie möglich zu verfahren“ (CARUS, System der tierischen Morphologie, 1853, S. 31).

GEGENBAUR suchte offenbar diese Forschung nach der Einheit in der Mannigfaltigkeit, diese Herleitung und Begründung der Homologien von der bloßen Schilderung der anatomischen Verhältnisse der Tiere abzugrenzen. Er suchte das in Begriffe zu fassen, was im Bewußtsein aller heutigen Zoologen enthalten ist, wenn sie die „vergleichende Anatomie“ von der „deskriptiven“ sondern. Statt aber die Logik des Forschungsverfahrens hervorzuheben, hielt er sich an die technischen Merkmale, und alle seine Definitionen des Wissenszweiges bestehen nur aus Deklinationen der „Vergleichung“ und aus Konjugationen des „Vergleichens“. Es fehlte ihm aber an einem methodologischen Antipoden dieses „Vergleichens“. Hier zeigt es sich deutlich, daß wir einen Begriff nicht durch ihn selbst, sondern durch seinen Gegenbegriff kennen lernen. Und GEGENBAUR suchte nach einem solchen Gegenbegriff. Er fand ihn sechs Jahre später. In seinem einleitenden Artikel zum ersten Bande des „Morphologischen Jahrbuchs“ (Die Stellung und Bedeutung der Morphologie) versuchte GEGENBAUR noch eine neue Charakteristik der „vergleichenden Anatomie“ (die er mit Morphologie identifizierte). Er schrieb da unter anderem, das Vergleichen als synthetischer Prozeß der Zusammenfassung der Resultate kritischer Behandlung sei nicht dieser Disziplin ausschließlich eigen, denn alle unsere Urteile gründen sich mehr oder weniger auf Vergleichen. Das Eigentümliche sei aber, daß hier das Vergleichen zur Methode ausgebildet sei, die einen Ersatz für das Experiment biete.

8. Nachweis, daß die vergleichende und die experimentelle Morphologie keine methodologischen Antipöden sind.

Dies führt uns auf den modernen Stand der Frage nach der methodologischen Charakteristik der vergleichenden Anatomie. Manche glauben wohl heute, daß die vergleichende Anatomie schon deswegen auch in logischer Beziehung das Prädikat einer besonderen selbständigen Disziplin verdiene, weil sie in methodologischer Hinsicht durch ihren Gegensatz zur experimentellen Morphologie hinreichend charakterisiert sei. Sollte das richtig sein, so müßte gezeigt werden können, daß die Antithese „vergleichend und experimentell“ sich logisch begründen läßt und eine sichere Grundlage für die Unterscheidung und Gegenüberstellung biologischer Disziplinen abgibt. Es läßt sich aber genau das Gegenteil beweisen.

Bevor ich aber darauf eingehe, will ich noch bemerken, daß die Unzulänglichkeit dieser Antithese schon aus der geschilderten Entwicklung des Begriffes der vergleichenden Anatomie erhellt, denn in einer derartigen Antithese müssen, wenn sie logisch zuverlässig sein soll, beide Hälften gleichzeitig konzipiert und definiert werden, das ist wohl eine elementare Forderung aller Systembildung. Es müßte schon ein Wunder mitspielen, wenn der im 17. Jahrhundert auf nichts weniger als korrekte logische Ueberlegungen hin begründeten „vergleichenden Anatomie“ 200 Jahre später in Gestalt der „experimentellen Morphologie“ ein logischer Antipode erwachsen wäre, der sich selbst und seinen Partner so eindeutig bestimmt, daß eine Nachprüfung gar nicht nötig wäre. Ich glaube nicht an solche Wunder und bin fest überzeugt, daß die Gegenüberstellung der vergleichenden und experimentellen Methode in der Biologie auf einem Mißverständnis beruht.

Es braucht kaum ausführlich dargelegt zu werden, daß man bei Versuchen, einzelne Wissensgebiete in ihren wesentlichen Merkmalen zu charakterisieren, immer logische Kriterien verlangt. Logisch ist aber zunächst das „Vergleichen“ eine so elementare Funktion des forschenden Geistes, daß sie in jeder Untersuchung notwendig zur Anwendung gelangt, also auch in der experimentellen. Es kann ferner aus der neueren Literatur dargetan werden, daß die Gegenüberstellung von vergleichender und experimenteller Biologie gar nicht allgemein anerkannt ist, denn ebenso häufig finden wir diese beiden quasi-methodologischen Antipöden als „beschreibend und experimentell“, oder auch als „rein-historisch und experimentell“ bezeichnet. Ich kann hier keine Zitate anführen, aber jeder wird sie leicht zusammensuchen, wenn er einmal darauf aufmerksam gemacht wurde und meine Behauptung nachprüfen will. Ich behaupte also, daß in den zumeist unsystematischen und schüchternen, nur sozusagen in Nebensätzen enthaltenen Versuchen methodologischer Charakterisierung einzelner Forschungsgebiete der Biologie eigentlich eine experimentelle und eine nicht-experimentelle Biologie unterschieden wird. Mit der zweiten Hälfte ist also logisch nichts anzufangen. Aber auch die erste Hälfte ist nichts weniger als eindeutig definiert. Das Experiment bedeutet das eine Mal ein Hantieren mit den Objekten, das andere Mal bekommt es die Charakteristik der kausalen Forschung. Auf das Technische können wir uns natürlich nicht einlassen. Wenn man Tiere von frühester Jugend isoliert, um über

die Elternschaft bei den nachherigen Zeugungsprozessen sicher zu sein, so ändert das ja absolut nichts an der logischen Natur der Probleme und der Schlußfolgerungen, die sich an die Untersuchung knüpfen. Wenn man zum Zwecke der Erforschung des Zusammenhangs der primären und sekundären Sexualcharaktere die Tiere selbst kastriert oder die Fälle der parasitären Kastration dazu verwertet, der Unterschied ist ein technischer und ein gradueller, insofern der Grad der Sicherheit der festgestellten Beziehung in Betracht kommt; die Art der aufzudeckenden Beziehung ist logisch in beiden Fällen absolut identisch. (SMITH, Rhizocephala, 1906, zitiert bei PRZIBRAM, Physiologie der Formbildung, in H. WINTERSTEINS Handbuch der vergleichenden Physiologie.) Es gibt sehr zahlreiche experimentelle Forschungsreihen, selbst raffinierte Eingriffe in die Entwicklung, zu denen man Parallelen aus der freien Natur anführen kann, um zu zeigen, daß die technisch so differenten Dinge logisch gleich sind. „Bei plötzlicher Verdünnung der Aufenthaltsflüssigkeit nach vorhergegangenem Aufenthalte in dichterem Medium zerfallen oft gefurchte Fischeier in die beiden ersten Blastomeren, deren jede sich dann zu einem vollkommenen aber verkleinerten Embryo entwickelt.“ „In der Natur findet dies bei Neunaugen gegen das Ende der Brutzeit statt, wenn die stark eingedickten Inhalte der Geschlechtswege plötzlich in das Flußwasser gelangen. Künstlich kann dieses Verhältnis durch vorübergehenden Aufenthalt der Eier in Salz- oder Zuckerlösungen vom osmotischen Drucke einer 1-proz. Kochsalzlösung nachgeahmt werden.“ (PRZIBRAM, Physiologie der Formbildung, nach BATAILLON.)

Es ließen sich zahlreiche Belege dafür beibringen, daß nicht alle kausale Forschung experimentell ist und daß nicht alles, was als experimentell bezeichnet wird, auf kausale Erkenntnis gerichtet ist. Es fehlt hier der Raum für solche ausführliche Belege, sie sind aber von mir an einem anderen Orte beigebracht worden. Wer aber aus der geschilderten Entwicklung des Begriffes der vergleichenden Anatomie noch nicht eingesehen hat, daß mit der Bezeichnung „vergleichende“ keine logische Charakteristik der Methode gemeint ist und daß vergleichend und experimentell keine logischen Antipoden sind, dem gebe ich noch folgendes zu bedenken. Wir erleben heute ein analoges Stück aus der Entwicklung dieser Begriffe auf dem Gebiete der Physiologie. Wie vor 200 Jahren für viele „Anatomie“ mit „Anatomie des Menschen“ identisch war, so ist es oder war es bis vor kurzem mit der Physiologie. Als nun vor etwa drei Jahrzehnten eingehendere chemisch-physiologische und ernährungs-physiologische Untersuchungen über verschiedene Tiere in größerer Anzahl zu erscheinen begannen, da nannten sie sich meistens „vergleichend-physiologische Untersuchungen“. Und gerade gegenwärtig erscheint ein umfangreiches Sammelwerk unter dem Titel „Handbuch der vergleichenden Physiologie“, in welchem aber selbstverständlich fast ausschließlich Ergebnisse experimenteller Forschung niedergelegt sind. Hier bezieht sich das „vergleichend“ nur darauf, daß mehrere Arten erforscht wurden¹⁾. Eine Gefahr der Verwechslung liegt hier nicht vor, weil alle wissen, daß die Physiologie experimentell betrieben werden muß. Wo aber die Neigung besteht,

1) Das erinnert uns an die „vielseitige und vergleichende Anatomie“ bei WILLIS.

das Wort „vergleichend“ im Sinne einer spezifischen Methode aufzufassen und daraus einen methodologischen Gegensatz zu konstruieren, da muß mit allem Nachdruck darauf hingewiesen werden, daß die Entstehung der Bezeichnung „vergleichende Anatomie“ genau dieselbe war, wie in dem zuletzt zitierten Falle und daß auch in der nachfolgenden Zeit eine korrekte logische Definition dieses Begriffes nie gegeben worden ist. Man verließ sich immer darauf, daß jedermann weiß, was es mit dem „Vergleichen“ auf sich habe. Es kommt aber einmal eine Zeit, wo man mit diesen populären Bezeichnungen nicht mehr arbeiten kann, weil sie nicht ausreichen, um für neu auftauchende Probleme den adäquaten Ausdruck zu liefern. So ist in neuerer Zeit infolge der starken Entwicklung der experimentellen Forschung ein scheinbarer Gegensatz zwischen der neuen und alten Forschungsmethode konstruiert worden, der in seiner Schärfe stark übertrieben werden konnte, weil es an adäquaten Ausdrucksmitteln fehlte. Es ist bezeichnend, daß selbst DRIESCH, der diesen Gegensatz in denkbar schärfster Form proklamiert hat, nicht eingesehen hat, daß er sich dabei populärer, logisch nicht exakt definierter Ausdrücke bedient.

Vom Standpunkte der hier durchgeführten Unterscheidung der Forschung nach begrifflichen und der Forschung nach realen Beziehungen läßt sich zeigen, daß jede Untersuchung der Formerscheinung im Organismenreiche schon meist diese beiden Komponenten in sich enthält. Wenn man verschiedene Formgebilde untereinander vergleicht, so tut man das zunächst vielleicht, um ihre Zurückführbarkeit auf eine gemeinsame Grundform, also doch auf einen Begriff oder Merkmalskomplex zu prüfen. Ist eine solche Zurückführung gelungen oder nicht, es bleibt doch noch die andere Aufgabe, die Feststellung der realen Beziehung zwischen den besonderen Formeigenschaften des einzelnen Gebildes und den Erscheinungen der Umwelt, diese im weitesten Sinne des Wortes genommen. Kommt das Experiment als Hilfsmittel dazu, so gelingt es, in diese realen Beziehungen tiefer einzudringen, insofern es sich um Faktoren handelt, die sich isolieren und variieren lassen. Daß nicht alle Faktoren eine solche Variation und Isolation zulassen, indem die idiographische, historische Komponente nicht mehr nach Belieben aus- und eingeschaltet werden kann, ist oben bereits angedeutet und soll weiter unten in einem anderen Zusammenhange noch erörtert werden.

Als ich vor zwei Jahren ausführliche Erörterungen über die Unzulänglichkeit der Einteilung der Biologie in vergleichende und experimentelle veröffentlichte, konnte ich mich auf keine literarischen Quellen berufen, es war mir nicht bekannt, daß in einem Werk, welches nach R. BURCKHARDT „zu den besten biologisch-systematischen Versuchen des Jahrhunderts gehört“, ein ähnlicher Standpunkt vertreten wird, freilich nur in aphoristischer Form. Ich meine J. V. CARUS' System der tierischen Morphologie aus dem Jahre 1853, das mir erst jetzt zugänglich geworden ist. Auf S. 11/12 steht da zu lesen: „Man spricht, und besonders in den Naturwissenschaften, von einer Methode der Beobachtung, der experimentellen Methode usw. Insofern damit nur der Weg bezeichnet werden soll, auf dem man unabhängig von anderen Tatsachen neue finden kann, wäre dagegen nichts einzuwenden. Werden dieselben aber mit metho-

dischen Formen der Forschung koordiniert, wie mit der Methode der Induktion, der Vergleichung usw., will man ihnen also eine logisch formale Bedeutung geben, so ist dies ein grober Verstoß gegen die Logik. So läßt z. B. AUG. COMTE der Physik und Chemie nur die Methoden der Beobachtung und des Experiments, während die Biologie noch die vergleichende Methode besitzen soll. Es kann jedoch weder eine Beobachtung noch ein Experiment ohne Anwendung einer heuristischen Methode des Denkens für die Wissenschaft verwertet werden, wie ja kein Experiment überhaupt ohne eine solche angestellt wird (oder werden sollte)“ usw. Und weiter: „Das wichtigste bei jedem Experiment ist daher die Frage, um derenwillen wir erst zum Versuche schreiten; der Weg, den wir zur Erlangung von Antworten einschlagen, hat mit der Philosophie der Wissenschaft nichts zu tun, sondern richtet sich ganz nach dem praktischen Wesen des Objekts derselben. Beobachtung und Experiment sind daher in diesem Sinne keine Methoden.“

Ich könnte in diesem Zusammenhang noch anführen, daß mehrere Autoren gelegentlich Aeüßerungen getan haben, aus denen hervorgeht, daß auch sie die Gegenüberstellung einer experimentellen und einer vergleichenden Morphologie resp. Embryologie dem heutigen Stande der wissenschaftlichen Forschung nicht anzupassen vermögen. So schreibt F. SCHULZ in seinem neuen Buche „Prinzipien der rationellen vergleichenden Embryologie“: „Wir nehmen also eine Zwischenstellung zwischen der experimentellen Embryologie und der beschreibenden ein, der Methode nach, weil wir wohl auf Experimenten unsere Schlüsse bauen, aber andererseits diese Experimente nicht selbst machen, sondern die von der Natur gemachten beobachten. Wir erheben die Beobachtung zum Experiment nach der von CUVIER geäußerten Idee (auf die auch MAAS hinweist), daß man durch geeignete Beobachtung die beschreibende Wissenschaft zur experimentellen erheben könnte.“ — Und O. MAAS schreibt neuerdings (in: Die Abstammungslehre, 12 gemeinverständliche Vorträge, Jena, G. Fischer, 1911, S. 289): „Dadurch ergeben sich für die experimentelle wie für die vergleichende Entwicklungsgeschichte trotz aller sonstigen Verschiedenheiten doch wieder gewisse gemeinsame Bahnstrecken. Die einen Forscher gestehen zu, daß der Entwicklungsgang ein um seiner selbst willen, nicht bloß für die phyletische Auslegung zu studierendes Problem darstellt, und die anderen, daß man von beiden Seiten her, nicht nur durch das Experiment, sondern auch durch den Vergleich nahverwandter Formen, ursächliche Aufschlüsse über den Entwicklungsgang erhalten kann.“ — In diesen Sätzen, und ich könnte solcher aus verschiedenen modernen Werken noch mehr zitieren, sieht man, wie das logische Bedürfnis der Autoren, das dem engen Kleide des herrschenden Schematismus in der Klassifikation der Biologie entwachsen ist, nach einem Ausdruck ringt, um den aktuellen Problemen gerecht zu werden. Für mich ist dies nur eine weitere Bestätigung für die Richtigkeit der Schlußfolgerung, daß die Einteilung der Biologie (sowie ihrer Teile, der Morphologie, der Embryologie) in vergleichende und experimentelle (anders genannt beschreibende und experimentelle), die eigentlich nie logisch begründet wurde, heute weniger als je eine Existenzberechtigung hat. Bei dem gegenwärtigen Stande der biologischen Forschung erscheint mir die Einteilung in Biotaxie und Biophysik,

je nachdem es sich um die Erforschung begrifflicher oder realer Beziehungen handelt, als die einzig annehmbare und logisch einwandsfreie Einteilung.

Die lange Beibehaltung dieser unrichtigen Einteilung der Biologie in experimentelle und vergleichende wäre nicht imstande, so viel Unklarheiten zu verursachen, wenn sie sich nicht mit einer anderen ebenfalls falschen Einteilung verbunden hätte, nämlich mit der Einteilung der Biologie in Morphologie und Physiologie. Da diese letztere Einteilung nie eine logisch einwandsfreie Begründung erfahren hat, so war auch insofern die Möglichkeit zu einer falschen Auslegung gegeben, als einige Autoren diese Einteilung für eine auf den Unterschied in der Methode begründete hielten, andere — für eine auf der Differenz der materiellen Natur der Probleme beruhende. Aus der gegenseitigen Durchdringung dieser beiden Einteilungsweisen ergab sich wie von selbst, daß die Morphologie, deren Aufgabe schon 1870 von GEGENBAUR in der „Erforschung und Erklärung der Formerscheinungen des Körpers und seiner Teile“ erblickt wurde, der „vergleichenden“ Methode zugeordnet werden muß, während die Physiologie sich selbstverständlich der experimentellen Methode zu bedienen habe. (Vgl. GEGENBAUR, Grundzüge der vergleichenden Anatomie, 1870, S. 1 u. 6.) Für uns ist es klar, daß es nicht den Schatten eines Grundes dafür gibt, daß die „Erklärung der Formerscheinung“ sich auf die „vergleichende“ Methode zu beschränken brauchte. Trotz der Ungereimtheit einer solchen Zuordnung hat sich im Laufe der Jahrzehnte die Meinung erhalten, es gebe eine „echt-morphologische Methode“. Noch in allerneuester Zeit kann man bei den Autoren eine solche Gegenüberstellung „echt-morphologischer“ und „experimenteller“ Forschung finden (so z. B. in E. GODLEWSKY jun., „Das Vererbungsproblem im Lichte der Entwicklungsmechanik betrachtet“, 1909, Heft IX der Vorträge und Aufsätze über Entwicklungsmechanik der Organismen, auf S. 115, 114 u. a.). Rein sprachlich betrachtet entbehrt sie nicht einer gewissen Komik, diese Gegenüberstellung rein-morphologischer und experimenteller Forschung in einer Zeit, die auf die Leistungen der „experimentellen Morphologie“ und auf das Erwachen der „vergleichenden Physiologie“ stolz ist. Man wird vielleicht einwenden, das seien ja nur Namen. Aber die Namen sind eben Zeichen für Begriffe und die Grammatik steht zur Logik in demselben Verhältnis wie das Sprechen zum Denken. Haben wir denn ein anderes Mittel, uns über Begriffe zu verständigen, als indem wir Namen, Worte gebrauchen?

Wir können das Gesamtergebnis der bisherigen Betrachtungen in folgender Weise zusammenfassen: Nachdem wir die Unrichtigkeit der kursierenden Ansicht von der Einteilung der Biologie in vergleichende und experimentelle auf der einen Seite, in Morphologie und Physiologie auf der anderen Seite eingesehen haben und an Stelle dieser veralteten Einteilungen die neue berichtigte gesetzt haben, wonach zwei formale Gesichtspunkte (begriffliche und reale Beziehungen) und sieben materielle Gesichtspunkte (Klassifikation, Form, Lebensvorgänge, Anpassungen, räumliche Verteilung, zeitliches Auftreten und Entwicklung) der Einteilung der gesamten Wissenschaft Biologie zugrunde gelegt werden, können wir nicht umhin zu erklären: in dem in neuester Zeit so akut gewordenen Streit

über den Wert der experimentellen und vergleichenden Methode für die Morphologie handelt es sich um eine von Anfang an falsche Fragestellung. Nicht ob man vergleicht oder experimentiert ist die Frage, sondern ob man sich dessen klar bewußt ist, daß die Wissenschaft von den Formerscheinungen in der Tierwelt es mit zwei formal verschiedenen Gruppen von Problemen zu tun hat: der Aufdeckung der Einheit in der Mannigfaltigkeit der Gestalten und der Feststellung der realen Beziehungen dieser Gestaltsphänomene zu den Bedingungen der Umwelt (im weitesten Sinne des Wortes). Beide Arten der Forschung in der Morphologie sind logisch koordiniert, keine ist der anderen untergeordnet und keine ist in ihrem Werte über die andere zu stellen. Verschiedene Umstände bedingten es, daß die eine von ihnen lange im Vordergrund des Interesses gestanden hat oder noch steht. Nicht eine Vertiefung der Kluft zwischen beiden entspricht dem Bedürfnis und dem Interesse der heutigen Wissenschaft, sondern eine gegenseitige Annäherung. Wenn aber heute im Betriebe des Hochschulunterrichts die eine von ihnen noch eine dominierende Stellung einnimmt, so ist dies nur durch technische und historische Momente bedingt¹⁾. Wir dürfen hoffen, daß die Zukunft eine gleichmäßigere Berücksichtigung beider Teile der Morphologie nicht nur in der Forschung, sondern auch in der Lehre bringen wird.

9. Die Beziehung der Morphologie zu den Problemen der Entwicklungslehre. HAECKELS biogenetisches Grundgesetz und das ontogenetische Kausalgesetz von O. HERTWIG.

In den Kontroversen über die Morphologie, ihr Wesen und ihre Methoden nehmen bekanntlich die Fragen nach der Beziehung der Morphologie zur Entwicklungslehre (Deszendenztheorie), speziell nach der Bedeutung des biogenetischen Grundgesetzes einen breiten Raum ein. Eine methodologische Einleitung in die Morphologie darf daher auch diese Fragen nicht mit Stillschweigen übergehen.

Zu einem richtigen Verständnis des Verhältnisses der Morphologie zur Entwicklungslehre gehört vor allem eine Klarstellung der logischen Beziehung. Es muß eingesehen werden, daß die Entwicklungslehre (oder Genetik) ein selbständiger, den anderen sechs

1) Was die Benennung der Lehrstühle anbetrifft, so sei hier eine kleine Statistik mitgeteilt (zusammengestellt nach der „Minerva“ und den „Hochschulschriften“). Von 28 Universitäten Deutschlands, Oesterreichs und der deutschen Schweiz weisen 13 einen Lehrstuhl für „Zoologie und vergleichende Anatomie“, 15 nur einen solchen für „Zoologie“ auf. Natürlich wird auch an diesen 15 „vergleichende Anatomie“ als Kolleg gelesen, es ist aber hier wie dort meist eine „vergleichende Anatomie der Wirbeltiere“. An 4 von diesen 15 ist das Institut noch als solches für „Zoologie und Zootomie“ oder für „Zoologie und vergleichende Anatomie“ bezeichnet. Ich erinnere bei dieser Gelegenheit daran, daß HAECKEL noch 1879 diejenigen seiner Kollegen als rückständig zitierte, die sich „Professoren der Zoologie und Zootomie“ nannten. Als ob man Zoologie treiben könnte, ohne die Tiere zu schneiden! Mit dem „Vergleichen“ steht es ähnlich: will man damit eine spezifische Methode im logischen Sinne bezeichnen, so ist eine solche Bezeichnung nicht stichhaltig. Will man damit nur eine technische Charakteristik geben, so ist sie überflüssig, denn jede Wissenschaft muß vergleichen, und die Wissenschaft von den Tieren kann das Vergleichen ebenso wenig entbehren wie das Schneiden. In Frankreich, Italien und Rußland gibt es noch ziemlich viele Professuren für „vergleichende Anatomie und Physiologie“. Es ließen sich auf dem Wege der Statistik im heutigen Hochschulbetrieb verschiedene Gebilde nachweisen, die ebenso verschiedene Etappen in der Entwicklung des heutigen Begriffes der Zoologie repräsentieren.

koordinierter, nicht einem von ihnen untergeordneter Zweig der biologischen Forschung ist. In dem System von HAECKEL, das auch heute noch die meisten Anhänger zählt, bildet die „Phylogenie“ einen Teil der Morphologie. Hiergegen ist einzuwenden, daß erstens der Ausdruck „Phylogenie“ selbst vom Momente seiner Einführung an in die Wissenschaft an einer angeborenen Schwäche leidet, indem er durchaus nicht eindeutig ist. Bald bedeutet Phylogenie die gesamte Grundanschauung der modernen Entwicklungslehre, bald nur die Lehre von den Stammbäumen (also bloß einen Teil jener Gesamtansicht), bald wird sie einfach der Paläontologie gleichgesetzt. Auch GEGENBAUR schrieb 1870 bei der Erörterung der Paläontologie in Klammern: Phylogenie H_{KL}, Paläontologie ist aber, wie wir oben gezeigt haben, ein technisch abgegrenzter, nicht logisch definierter Zweig der Biologie, der die mehr oder weniger allseitige Erforschung der fossil vorkommenden Lebewesen sich zur Aufgabe stellt und der weder historisch noch logisch in einer unbedingten Abhängigkeit von der Anerkennung der Entwicklungslehre auftritt. Dann ist zur Sache selbst zu bemerken, daß eine solche Unterordnung der Entwicklungslehre unter die Morphologie nur für denjenigen anscheinend unausweichlich ist, der den Grundsatz angenommen hat, daß die gesamte Biologie unbedingt in zwei Teile, Morphologie und Physiologie, eingeteilt werden muß. Aber selbst wenn das richtig wäre, ist die weitere Aussetzung zu machen, daß uns beim Studium der Entwicklung der Lebewesen nicht bloß die Erscheinungen der Gestalt, sondern auch diejenigen der Lebensprozesse, Anpassungen, Verbreitung im Raume usw. interessieren. Ich kann daher den Versuch eines neueren Autors das HAECKELSche System in einer nur wenig modifizierten Form wieder aufzunehmen nicht für zweckmäßig halten. (Vgl. R. HESSE, Biologische Wissenschaften in „Handwörterbuch der Naturwissenschaften“, Bd. 1.) Da erscheint wieder die Morphologie wie bei HAECKEL in zwei Teile geteilt, nur heißen sie nicht Anatomie und Morphogenie, sondern analytische und synthetische Morphologie. Erstere ist die reine „Anatomie“ (mit der Chemie zusammen), letztere ist die Ontogenie und die vergleichende Anatomie, die „zu Klassifikation und Phylogenie oder Stammesgeschichte führt“. Nach dieser Ansicht wäre also die Stammesgeschichte ein Nebenresultat der Betrachtung der Gestalten. Nach unserem oben entworfenen System ist die Genetik eine der sieben Hauptfragen und die Lösung der Probleme der Genetik würde die Verwertung alles dessen erfordern, was bei der Erforschung der Tiere unter den sechs übrigen materiellen Gesichtspunkten erzielt worden ist. Unter diesen Umständen hat es erst einen Sinn zu fragen, welche Stellung die Morphologie der Genetik gegenüber sachlich annimmt, d. h. in welchen Fällen und in welcher Form wir die morphologischen Erfahrungen zur Lösung genetischer Probleme heranziehen.

Die weitere Gliederung des Gesamtgebietes der Genetik ergibt sich, wie oben bereits kurz angedeutet wurde, aus folgender Betrachtung. Wir müssen in erster Linie die Grundfrage, ob sich die spezifischen Formen der Lebewesen selbständig oder aus anderen spezifischen Formen entwickelt haben, zu beantworten suchen. Haben wir dies im Sinne der modernen Entwicklungslehre getan, so erhebt sich die Frage nach den Stammlinien oder Stammbäumen. Welche Formen sind aus welchen hervorgegangen, oder, für bestimmte Einzel-

fälle, aus welchen Formen hat sich diese gegebene Formenreihe entwickelt? Neben dieser Frage besteht aber noch eine weitere, nach den Faktoren oder Ursachen der Entwicklung. So selbstverständlich es auf den ersten Blick erscheinen mag, es ist doch nicht überflüssig hier zu betonen, daß die Reihenfolge der Fragen auf dem Gebiete der Genetik diese und keine andere ist und sein kann. Nur wer von der Richtigkeit der Grundanschauung überzeugt ist, daß die Arten sich entwickelt haben, kann zur Untersuchung der anderen Fragen schreiten. Es hat nicht an Versuchen gefehlt, die Sache umgekehrt darzustellen: ausgehend von annehmbaren Vorstellungen bezüglich des Verlaufs der Umwandlung, also ausgehend von dem „Wie“ der Entwicklung zur Aussage zu gelangen: die Arten haben sich also entwickelt. Es hat auch nicht an Leuten gefehlt, die, weil ihnen die mutmaßlichen Stammbäume gewisser Tiergruppen nicht „exakt erwiesen“ schienen, den Zusammenbruch der gesamten Entwicklungslehre proklamiert haben. Als Beispiel mag hier A. FLEISCHMANN erwähnt werden, der es versucht hat, sich aus einem Opfer selbstverschuldeter Unklarheit im Denken zu einem Warner und Retter der quasi auf falschem Pfade wandelnden Wissenschaft emporzuschwingen¹⁾. Der Erfolg dieses Versuches ist ausgeblieben, niemand nimmt FLEISCHMANN ernst. Und mit Recht. Denn unsere Ueberzeugung von der Richtigkeit der Entwicklungslehre gründet sich nicht auf den Einblick in einige „exakt bewiesene“ Stammbäume, sondern auf das Argument, daß ohne die Annahme einer Entwicklung wir die vorliegende abgestufte Mannigfaltigkeit der Tiere, ihre Verteilung im Raum und ihr zeitliches Auftreten nicht verstehen, d. h. nicht in einen Zusammenhang mit anderen vollständig sicheren Erkenntnissen, wie der Kontinuität, der Variabilität und der anatomischen Uebereinstimmung blutsverwandter Lebewesen bringen können. Dasselbe halte ich auch denjenigen entgegen, die mit DRIESCH erklären, weil die Einsicht in die Notwendigkeit der stattgehabten Formwandlung uns fehle, so sei die Aussage, daß die Formen sich entwickelt haben, unsicher und von geringem wissenschaftlichen Werte. Ich nehme in der Methodologie der Entwicklungslehre einen genau entgegengesetzten Standpunkt ein: ich glaube, daß die Richtigkeit des Grundgedankens der Entwicklung ohne Einblick in die Wirkung der formbildenden Faktoren bewiesen werden kann, soweit überhaupt ein Beweis für eine Theorie gegeben werden kann. Für die weitere Erforschung der aus der Annahme jener Theorie sich ergebenden Probleme der Stammbäume und der Entwicklungsfaktoren werden wiederum besondere Hypothesen aufzustellen und zu verifizieren sein. Und was den Wert dieser Ueberzeugung für die Wissenschaft anbelangt, so ist der fördernde Einfluß derselben auf die Entwicklung der Biologie eine Tatsache, die nicht in Abrede gestellt werden kann.

Wir wollen also an der Ansicht festhalten, daß es im Bereiche der gesamten Entwicklungslehre oder Genetik drei verschiedene Fragen gibt, eine logisch übergeordnete, die Grundfrage, und zwei ihr untergeordnete, die Stammbaumfrage und die Faktorenfrage. Wir

1) Die Deszendenztheorie. Gemeinverständliche Vorlesungen über den Auf- und Niedergang einer naturwissenschaftlichen Hypothese. Leipzig 1901. Ferner in: Lehrbuch der Zoologie, Wiesbaden 1908, das Schlußkapitel über den Stammbaum der Tiere.

haben jetzt nachzusehen, wie sich die Morphologie zu diesen drei Fragen verhält.

Was die Stellung der Morphologie zur ersten oder der Grundfrage der Entwicklungslehre anbetrifft, so ist zu sagen, daß die Morphologie es ist, die uns die zwingendsten Beweise der Entwicklung liefert. Die abgestufte Mannigfaltigkeit der Formen zwingt uns zum Nachspüren der ihr zugrunde liegenden gemeinsamen Grundformen. Dieser erste Teil der morphologischen Arbeit wird auch von denen verrichtet, die von der Entwicklungslehre nichts hören wollen. Es ist andererseits nicht in Abrede zu stellen, daß die Morphologie nicht das einzige Wissensgebiet ist, das uns die abgestufte Mannigfaltigkeit aufdeckt. Es ist außer Zweifel, daß auch bestimmte Reaktionen des Organismus, die unter dem Gesichtspunkte der Lebensvorgänge (Physiologie) erforscht werden und keine Aeüßerung in Formerscheinungen zeigen, ebenfalls eine abgestufte Mannigfaltigkeit offenbaren. Man denke an die Fällungsreaktionen des Blutserums, die in neuester Zeit so viel besprochen und als „experimentelle Beweise“ der Abstammung des Menschen von affenartigen Tieren von den Popularisatoren weidlich ausgenutzt wurden. Uns kann an der ganzen Sache interessieren, daß trotz der grundverschiedenen Technik das Ergebnis so gut mit dem natürlichen System übereinstimmt. Es ist ja bekannt, daß das Verfahren sogar eine quantitative Behandlung zuläßt und daß aus der Menge des Niederschlags und der prozentischen Anzahl der positiv verlaufenden Proben sich der Abstand zweier Tierarten im System ergibt, der mit der Ansicht des geltenden natürlichen Systems gut übereinstimmt. Wir wollen daher nicht behaupten, daß die Morphologie den einzigen Weg zur Konstatierung der abgestuften Mannigfaltigkeit bietet. Aber es ist ebenso sicher, daß die Formerscheinungen uns die sichtbarste Aeüßerung dieser abgestuften Mannigfaltigkeit liefern. Um diesen Befund für die Beweisführung in Sachen der Entwicklungslehre zu verwerten, müssen aber noch manche Voraussetzungen gemacht werden. Es muß vor allem das Bestreben anerkannt werden, diese Mannigfaltigkeit zu erklären, d. h. im Zusammenhang mit anderen an und für sich vollständig sicheren Erkenntnissen einheitlich zusammenzufassen. Diese sicheren Erkenntnisse beziehen sich auf: 1) die Erscheinung der Elternzeugung oder Kontinuität der Organismen; 2) die Tatsache, daß die größte Uebereinstimmung im anatomischen Baue zweier Tiere dann gefunden wird, wenn sie untereinander blutsverwandt sind; 3) endlich die Tatsache, daß die Einzelwesen in ihren Merkmalen schwanken, so daß man von einer individuellen Variabilität sprechen kann.

Eine einheitliche Zusammenfassung dieser sicheren einzelnen Erkenntnisse mit der ebenso sicheren Erfahrung von der abgestuften Mannigfaltigkeit ist nur unter der Annahme möglich, daß diese Mannigfaltigkeit eine gewordene ist, daß sie das Ergebnis gehäufte Variabilität darstellt. Und da die Gestaltungsverhältnisse die sichtbarste Aeüßerung der abgestuften Mannigfaltigkeit darstellen, so liefert uns jeder morphologische Befund, der uns die hinter der Mannigfaltigkeit versteckte Einheit vor Augen führt, zugleich ein Beweismittel der Entwicklung in der ersten Frage, der Grundfrage. Das gibt die bekannte Gruppe der „morphologischen

Beweise“. Da wir ferner die „Embryologie“ nicht als logisch definierte besondere Disziplin anerkennen, so gehören die sogenannten „embryologischen Beweise“ ebenfalls hierher. (Von den geographischen und geologischen Beweisen kann hier füglich abgesehen werden.)

Sind wir auf Grund solcher Beweise zur Ueberzeugung gekommen, daß die heutige Mannigfaltigkeit des Tierreichs das Ergebnis eines Entwicklungsprozesses ist, so stehen wir bei Betrachtung einer jeden spezifischen Form vor dem Problem: aus welchen Vorfahren hat sich diese Form entwickelt? Wenn man sich auf die logische Natur dieser Frage besinnt, ohne sein Urteil durch die heftigen Angriffe der Gegner vom Schlage FLEISCHMANNs auf die „phylogenetischen Spekulationen der HAECKELschen Schule“ trüben zu lassen, so muß man einsehen, daß solche Fragen, wie die nach den Vorfahren einer gegebenen Species, keine eindeutige Lösung zulassen. Die Frage selbst muß vielmehr lauten: „aus welchen Urformen kann sich diese Species entwickelt haben?“ Welche Stellung muß nun die Morphologie dieser Frage gegenüber einnehmen, oder welche morphologischen Erkenntnisse werden verwertet, wenn man solche Fragen zu beantworten sucht?

Die kritische Sichtung der mannigfaltigen Ausgestaltungen einer und derselben Grundform führt uns in der Morphologie zur Unterscheidung ursprünglicher und abgeleiteter Formzustände. Wir sprechen dabei nicht von „höheren und niederen“ Tieren, auch nicht von „vollkommenen und unvollkommenen“, wir sprechen überhaupt nicht von „Tieren“, sondern von einzelnen Formzuständen. Für jede Art von Formzuständen muß durch umfassende kritische Sichtung des Materials der ursprüngliche und der abgeleitete Typus aufgefunden werden. So wird kein mit dem einschlägigen Material Vertrauter bestreiten, daß folgende Sätze allgemein als wahr anerkannt werden: 1) Das Fehlen des Schlüsselbeins im Schultergürtel eines Säugetiers ist gegenüber dem Vorhandensein dieses Knochenstücks ein abgeleiteter Zustand. 2) Die Verwachsung der Mittelfuß- resp. Mittelhandknochen bei einem Säugetier ist gegenüber ihrem Getrenntsein ein abgeleiteter Zustand. 3) Das Fehlen der Schale bei Kopffüßlern ist ein abgeleiteter Zustand. 4) Das Fehlen des Zahnwechsels, d. h. das Auftreten nur einer einzigen Dentition bei Säugetieren ist ein abgeleiteter Zustand. 5) Vier-, drei-, zwei- und einfingerige Säugetierhände oder -füße sind gegenüber den fünffingerigen abgeleitet. 6) Das Fehlen der hinteren Extremitäten bei Säugetieren sowie beider Extremitätenpaare bei Reptilien ist ein abgeleiteter Zustand usw. usw. Wenn wir nun im Besitze solcher Listen von primitiven und abgeleiteten Merkmalen sind, so stellt sich unser Urteil über die Stammform einer vorliegenden Art als eine Aussage über die Notwendigkeit der Ausschließung dieser oder jener Formen aus der Vorfahrenreihe dar, weil sie in dem einen oder anderen Merkmal zu spezialisiert sind. Es ist geradezu charakteristisch für den Fortschritt der Anschauungen bezüglich der Abstammung der Arten, daß Formen, die früher für Vorfahren gehalten wurden, immer wieder aus der direkten Vorfahrenreihe ausgeschaltet werden mußten, weil man erkannte, daß sie in diesem oder jenem Merkmal schon zu spezialisiert, zu abgeleitet sind.

Man erinnere sich an die Stammbäume, die LAMARCK seiner „Zoologischen Philosophie“ beigegeben hat. Die Vögel stammen bei ihm von Schildkröten, denn wenn man den Kopf einer Schildkröte auf den Körper eines Vogels aufsetzt, so sieht man nichts Ungereimtes darin. Und der Orang von Angola (der Schimpanse) hat sich dadurch, daß er sich zu aufrechtem Gange erhob, daß er seine Erlebnisse in artikulierten Lauten mitzuteilen begann, usw. usw. zum Menschen entwickelt. „Die Gewohnheiten haben alles gemacht.“ Heute denkt niemand daran, eine solche Ableitung von einer noch lebenden, aber in anderer Richtung spezialisierten Form zu verteidigen. Ja, selbst zahlreiche fossile Formen müssen auf den Anspruch, Vorfahren einer gegebenen Art zu sein, verzichten, sobald sich erweist, daß sie in einem Merkmal weiter differenziert waren, als die betreffende Art. So ist die kritische Musterung der Formzustände die wichtigste Instanz für den Nachweis, welche Arten von der direkten Stammlinie zu entfernen sind. Das ist also eine negative Instanz, aber eine äußerst wichtige, wenn man bedenkt, daß gerade auf diesem Gebiete so viele Fehler begangen wurden und heute noch begangen werden. Nicht nur die sachlichen Korrekturen sind hier von Wert, sondern die Schulung des forschenden Geistes, die sich aus der Betätigung dieser kritischen Funktion ergibt. Und weil die Morphologie hier die Schule der Kritik darstellt, so hat sie den Anspruch, immer, wo es sich um die Entscheidung von Stammbaumfragen handelt, erhört zu werden. Sie hat sozusagen das Veto-Recht in Stammbaumfragen.

Doch gibt es auch Reihen von Forschungen über Formzustände, die zu den positiven Instanzen gehören. Es sind die morphologische Erforschung der fossilen Tierreste und die Erforschung der individuellen Entwicklung der Tiere. Was wir unter dem Gesichtspunkt der Chronologie der Tierwelt erfahren, ist nur: diese Tiere lebten zu dieser jene zu jener Zeit. Nehmen wir die Verwandtschaftsverhältnisse dazu, so gestaltet sich die Feststellung in folgender Weise: diese Klasse, (oder dieser Typus) war in der Zeit T durch die Formen A vertreten, in der Zeit T' durch die Formen A' usw. Es fand sich also ein gesetzmäßiger Wechsel der Vertreter statt. Da aber die Dauer der Existenz einzelner Vertretergruppen sehr ungleich war, so sagt die zeitliche Aufeinanderfolge allein noch nichts Positives über die Stammbaumverhältnisse aus. Es ist ein bedauerliches Mißverständnis, wenn ein moderner Naturforscher von dem „tatsächlichen Entwicklungsgange, wie wir ihn aus den Funden der Vorzeit ablesen“ spricht¹⁾. Wir lesen den Entwicklungsgang nicht ab, sondern wir deuten ihn hinein und dies tun wir oder sollten wir nur unter Berücksichtigung der von der Morphologie gefundenen Differenzen der ursprünglichen und abgeleiteten Formzustände tun. Dies gilt für die Formen innerhalb eines Verwandtschaftskreises. Daß Formen, die nur analoge Ausbildung im Habitus aufweisen, von vornherein ausgeschlossen sind, brauchte kaum noch hervorgehoben zu werden, wenn nicht auch da in neuester Zeit Verstöße gegen die elementaren Forderungen der Kritik morphologischer Befunde vorgekommen wären.

Eine andere Reihe positiver Instanzen für die Beurteilung der Stammbäume ließe sich aus der Beobachtung der Formzustände der Organe im embryonalen Stadium entnehmen, wenn es sicher wäre,

1) STEINMANN, Die geologischen Grundlagen der Abstammungslehre, 1908, S. 4.

daß diese in der Entwicklung des Einzeltieres durchlaufenen Formzustände die Formwandlungen seines Stammes wiederholen. Das Bestreben, die auffallenden und vom erwachsenen Zustande stark abweichenden transitorischen Formen der Embryonen auf Dauerzustände andersartiger Tiere zu beziehen, sind schon sehr alt. In der Zeit der naturphilosophischen Spekulation wurde dieser Gedanke an eine Ähnlichkeit embryonaler Stadien „höherer“ Tiere mit Dauerzuständen „niederer“ in kritikloser Weise ausgesponnen. Da aber zugleich das Dogma von der Konstanz der Arten herrschte, so war diese Verwandtschaft“ und diese „Wiederholung niederer Stadien“, wie die ganze Stufenleiter eine rein gedankliche. Mit der allgemeinen Durchführung der Typenlehre, der Sonderung von Homologie und Analogie, mit dem Durchdringen der Deszendenztheorie mußte jene Formel eine neue Gestalt annehmen. Dies geschah in dem von HAECKEL formulierten „biogenetischen Grundgesetz“, wonach die Keimesentwicklung eine gedrängte Wiederholung der Stammesentwicklung darstellen sollte. Doch mußte von Anfang an eingesehen werden, daß nicht jeder Formzustand des Embryo die Existenz eines entsprechenden Ahnen anzunehmen berechtigt, und so wurden die Begriffe der Palingenese und der Cänogenese als Hilfsbegriffe eingeführt. Palingenetisch war das, was eine wirklichere Wiederholung der Ahnenzustände darstellt, cänogenetisch (d. h. fremdartig) das, was nachträglich hinzugekommen ist und das reine Bild den Vorfahrenstadien trübte.

Ueber die Berechtigung des biogenetischen Grundgesetzes ist viel gestritten worden. Es unterliegt keinem Zweifel, daß in diesem Gesetze ein richtiger Kern steckt, der aber aus dem Beiwerk herausgeschält werden muß. Dies muß hier betont werden, da gerade in neuerer Zeit infolge einer zu weitgehenden Reaktion gegen die unberechtigten Ansprüche des biogenetischen Gesetzes in seinen extremen Formen, sich die Versuche mehren, neben diesen Extremen seinen richtigen Kern selbst zu leugnen. Die Berechtigung eines vermittelnden Standpunktes soll aber nicht aus der Anwendung der trivialen Formel von der heilsamen „goldenen Mitte“ folgen, sondern aus einer nach beiden Seiten gleich strengen Analyse der Begriffe. Ich beginne mit der Besprechung des hervorragendsten unter den modernen Gegnern des biogenetischen Gesetzes. Damit meine ich natürlich nicht FLEISCHMANN, sondern nur diejenigen Gegner des biogenetischen Grundgesetzes, die zugleich zu den Anhängern der Entwicklungslehre gehören; denn die erklärten Gegner der Deszendenztheorie sollten konsequenterweise vom biogenetischen Grundgesetz keine Notiz nehmen. FLEISCHMANN hat auch in dieser Beziehung seine grundfalsche Auffassung der Entwicklungslehre bekundet, daß er in einem zur Widerlegung der Entwicklungslehre geschriebenen Buche volle zwei Kapitel dem biogenetischen Grundgesetze gewidmet hat. Der denkende Kritiker muß sich auf den Standpunkt stellen: eine Diskussion über Wert oder Unwert des biogenetischen Grundgesetzes gehört in den Kreis der Anhänger der Entwicklungslehre. Denn die Frage, ob die embryonalen Zustände Vorfahrenstufen wiederholen oder nicht, hat doch nur für diejenigen einen Sinn, der die Entwicklung der Arten anerkannt hat.

Unter den Anhängern der Entwicklungslehre hat sich in neuerer Zeit besonders OSKAR HERTWIG wiederholt gegen eine selbst eingeschränkte Geltung des biogenetischen Gesetzes ausgesprochen. Uns

interessiert besonders die neueste Phase in der Entwicklung seiner diesbezüglichen Vorstellungen, die in der Aufstellung eines neuen eigenen „Gesetzes“ gipfelt. Da HERTWIG die Sache für so abgeklärt hält, daß er sie in ein kurzes Lehrbuch der Embryologie aufzunehmen für angezeigt hält, so will auch ich hier zu diesem Gesetz Stellung nehmen. Daß ich hier nicht die extreme Auffassung der Anhänger des biogenetischen Grundgesetzes gegen HERTWIG verteidigen will, wird aus der weiteren Darstellung klar genug hervorgehen. Ich halte aber die neue Wendung, die HERTWIG der Frage zu geben versucht, für so verfehlt, daß es meine Pflicht ist, eine Richtigstellung zu versuchen.

Das Schlußkapitel der vierten Auflage der „Elemente der Entwicklungslehre des Menschen und der Wirbeltiere. Anleitung und Repetitorium für Studierende und Aerzte“ (1910) trägt die Ueberschrift: „Das ontogenetische Kausalgesetz“. Dieses Gesetz wird folgendermaßen formuliert: „Ich habe dieses Abhängigkeitsverhältnis zwischen dem Eizustand einerseits und dem Verlauf und dem Endresultat der Ontogenese andererseits als das ontogenetische Kausalgesetz und als den Parallelismus zwischen Anlage und Anlageprodukt bezeichnet.“

Der Zweck dieser Formulierung eines neuen Gesetzes ist klar. HERTWIG will dadurch das biogenetische Gesetz unnötig machen: wenn die Schlundspalten am Säugetierembryo auftreten, so tun sie das, weil in der Anlage die Bedingungen dazu gegeben waren. Dasselbe gilt von der Chorda dorsalis, dasselbe von den Zahnanlagen der Bartenwale usw. Nicht die Natur der hypothetischen Vorfahren offenbart sich uns in den vorübergehenden Bildungen des Keimes, sondern die Natur der Anlagen des Eies, die dermaßen spezifisch sind, daß, „wenn wir einen vollen Einblick in den unserer Kenntnis verborgenen ultramikroskopischen Bau der Eizellen aller Tiere besitzen würden, der Systematiker allein schon auf Grund dessen die Eizellen der verschiedenen Tierarten nach ihrer größeren oder geringeren idioplasmatischen Aehnlichkeit in Stämme, Klassen, Ordnungen, Familien, Arten, Unterarten usw. würde einteilen können.“

Dieses ontogenetische Kausalgesetz ist vor allem nach seiner logischen Form kein Gesetz. Wenn man unter dem Gesetz die unter allen Umständen gleichbleibende Beziehung zwischen zwei Erscheinungen¹⁾ versteht, so ist es klar, daß die beiden Erscheinungen, die durch die Formel des Gesetzes zueinander in Beziehung gesetzt werden, auch wirkliche, bekannte Erscheinungen sein müssen. Die allgemeine Form eines solchen Gesetzes ist: wenn die Erscheinung A die Beschaffenheit A' hat, dann hat die Erscheinung B die Beschaffenheit B'. Einige glauben nun von einem Gesetze nur dann sprechen zu dürfen, wenn jene Beziehung eine quantitative ist. Andere sind nicht so streng in den Forderungen bezüglich der durch das Gesetz auszudrückenden Beziehungen; man wird in der Biologie dieser weniger strengen Fassung den Vorzug geben, da es sich hier nur in den seltensten Fällen um quantitative Beziehungen handeln kann. Andere wieder schränken die Definition des Gesetzes nach einer anderen Richtung ein, indem sie nur die Beziehungen von etwas „Wirkendem“ als Ge-

1) Vgl. z. B. EISLER, Wörterbuch der philosophischen Grundbegriffe: Naturgesetz (Definitionen von HELMHOLTZ, SIMMEL u. a.).

gesetz anerkennen wollen (s. z. B. Roux: „Die Entwicklungsmechanik, ein neuer Zweig der biologischen Wissenschaft“, S. 146). Auch das ist nicht unbedingt notwendig für die Definition des Gesetzes. Manche Forscher endlich versuchen eine andere Einschränkung, indem sie nur das als Gesetz bezeichnen, was sich ausnahmslos bestätigt, während sie unter einer Regel solche Beziehungen verstehen, die nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit zur Beobachtung gelangen.

Wollte man das Gesetz definieren wie man will, unter keinen Umständen wird die Bedingung erlassen, daß beide Erscheinungsreihen, die zueinander in Beziehung gesetzt werden, bekannte Phänomene sein müssen, oder sagen wir faßbare Erscheinungen. In dem vorliegenden Falle ist aber nur eine von den beiden Erscheinungen faßbar, das ist das Anlageprodukt. Die Anlage wird erst aus dem Anlageprodukt erschlossen, abgeleitet. Man kann nicht die Uebereinstimmung zwischen der Anlage und dem Anlageprodukt als Gesetz anstaunen, nachdem man in die Anlage alles das hineingedeutet hat, was man in sichtbarer Form im Anlageprodukt kennen gelernt hat. Das ist doch nicht ein Gesetz, sondern eine reine Tautologie.

Man stelle sich für einen Augenblick auf den Standpunkt jener Autoren, die von einem Gesetze nur dann sprechen, wenn die ausgesagte Beziehung immer verwirklicht ist, von einer Regel dagegen, wenn es auch Ausnahmen gibt. Wie will man nun herausfinden, in wie vielen Fällen die ausgesagte Beziehung stattfindet und in wie vielen sie nicht stattfindet? Wie will man feststellen, in wie vielen Fällen das Anlageprodukt nicht mit der Anlage übereinstimmt?

Das ontogenetische Kausalgesetz ist also kein Gesetz.

Es ist aber auch nicht kausal. Es ist eine Tatsache, daß die Embryonen der zahnlosen und haarlosen Bartenwale deutliche Anlagen von Zähnen und Haaren aufweisen, die sich bei der weiteren Entwicklung zurückblicken. Wie stellt sich das ontogenetische Kausalgesetz zu dieser Tatsache. Es erklärt quasi-kausal diese Erscheinung, indem es auf den Parallelismus zwischen Anlage und Anlageprodukt hinweist. Die Zähne und Haare erscheinen beim Embryo, weil sie in der Anlage vorhanden waren und weil die Anlageprodukte ja dieser Anlage ähnlich sein müssen. Ja, aber ist denn das das Problem. Das Problem liegt ja vielmehr darin, daß in der Anlage eines zahn- und haarlosen Tieres sich Bedingungen finden, deren Realisierung zum Auftreten von Anfangsstadien von Zähnen und Haaren in der Entwicklung führt. Also ist uns damit nicht geholfen, daß man uns sagt: der haar- und zahnlose Zustand hatte zur notwendigen Vorbedingung seines Auftretens einen anderen Zustand, in dem sich Haar- und Zahnkeime zeigen. Warum wird der zahnlose Zustand hier nur auf dem Wege über den bezahnten Zustand erreicht, während er bei den heutigen ebenfalls sekundär zahnlosen Vögeln doch direkt erreicht wird (worauf schon BOVERI 1906 hingewiesen hat). Das Problem ist also nicht gelöst, es ist nicht einmal gestreift. Es ist einfach vertuscht. Auf solche kausale Erklärungen hat die Wissenschaft keinen Grund stolz zu sein. Das ontogenetische Kausalgesetz ist also nicht kausal.

Es ist aber auch nicht ontogenetisch. Denn es kann und will sich in seinen Erklärungen nicht auf die in der Individualentwicklung gegebenen Bedingungen und Bedingungskomplexe beschränken, sondern es greift über die Grenzen der einzelnen Ontogenese hinaus auf die

allmähliche Anhäufung der „Anlagen“ in der „Artzelle“ über. Denn HERTWIG ist ein Anhänger der Deszendenztheorie und schildert besonders im großen Handbuch (Band III, 3, S. 149 ff.) in großzügiger Weise die allmähliche Entwicklung der Artzellen. Nach seiner Darstellung bilden die einzelnen Ontogenien nur Seitenzweige der Hauptbahn der Entwicklung eines Merkmalkomplexes, wobei die einzelne Ontogenie nur eine Aktivierung der in der Artzelle angehäuften Eigenschaften ist, die in ganz bestimmter vorgeschriebener Weise, gemäß der von der Artzelle erreichten Etappe, heruntergeleiert wird. HERTWIG weiß, daß die zahnlosen Wale von bezahnten Vorfahren abstammen und er weiß auch, daß die Ontogenien jener Individuen, die noch dem bezahnten Stadium angehört hatten, einen anderen Verlauf gehabt hatten, als die Ontogenien der heutigen Individuen. Denn damals hatte eben die Artzelle noch nicht die Etappe erreicht, von der aus sie der Ontogenie die Direktive zum Durchlaufen eines bezahnten und nachher eines zahnlosen Zustandes geben kann. Die ganze kausale Erklärung steht also und fällt mit der Annahme einer der einzelnen Ontogenie vorausgegangen und in ihr sich abspiegelnden Entwicklung der Artzelle. Wie kann man dann diese Erklärung als ontogenetisch bezeichnen? Wenn man schon weiß, woher das Ei stammt, dann ist es leicht, anzuführen, welche Anlagen es mitbekommen hat. Wollte man die ganze kausale Erklärung rein ontogenetisch geben, dann müßte man aus dem Eizustande selbst, ohne zu wissen, woher das Ei stammt, die Notwendigkeit der zu verwirklichenden Folgezustände angeben. Weil also das ontogenetische Kausalgesetz die Erscheinungen nur in Verbindung mit der Stammlinie der betreffenden Eizelle zu „erklären“ vermag, so ist es nicht ontogenetisch.

Ist somit das ontogenetische Kausalgesetz sachlich völlig unhaltbar, so ist es daneben auch noch methodologisch sehr bedenklich, denn es operiert mit Scheinerklärungen und seine Begründung enthält Wendungen, die geeignet sind, das logisch-korrekte Denken auf dem betreffenden Gebiete zu beeinträchtigen. Eine solche mir ganz unbegreifliche Wendung ist z. B. in dem Satze enthalten: „Denn die Fähigkeit zur Entwicklung einer Chorda oder das Vermögen Schlundspalten usw. zu bilden, sind überhaupt allgemein systematische Merkmale des ganzen Wirbeltierstammes.“ — In diesem Satze liegt eine Aufforderung zum Verzicht auf die Erforschung gewisser Phänomene. Man muß sich wirklich einmal fragen: genügt es denn, irgendein Phänomen als „ein allgemein systematisches Merkmal“ zu proklamieren, um für alle Zeiten dieses Phänomen aus dem Bereiche der Forschungsobjekte auszuschließen? Was sind denn „systematische Merkmale“? Gibt es denn wirklich Erscheinungen, die deswegen nicht auf ihre Morphologie, Physiologie, Oekologie, Genetik usw. untersucht werden dürfen, weil sie zugleich sichtbare Zeichen der abgestuften Mannigfaltigkeit tragen und daher als „Merkmale“ bei der Gruppierung der Tiere in Gattungen, Familien, Ordnungen, Klassen und Typen benutzt werden? Die konsequente Durchführung dieses Grundsatzes würde die schlimmsten Folgen für die Wissenschaft haben. Welchen Sinn hätte es, über die Herkunft der Haare der Säugetiere Forschungen anzustellen, da doch das Haarkleid ein „allgemein systematisches Merkmal der Klasse“ darstellt. Das isodonte Gebiß der Zahnwale, der eigenartige Zahnwechsel der Beuteltiere, das Parietalaugen der Reptilien, — alles das und noch vieles andere bietet gar keine Probleme für die

Forschung dar, denn das sind einfach systematische Merkmale der betreffenden Ordnungen resp. Klassen! — So rächt sich der Mangel eines klaren und konsequenten Systems der biologischen Wissenschaft. Denn bei einer einigermaßen logischen Gliederung des Inhaltes des gegenwärtigen biologischen Wissens, wie sie in den einleitenden Kapiteln dieses Abschnitts versucht wurde, muß es sich sofort herausstellen, daß die Erscheinungen der Lebewesen nicht an sich systematisch oder unsystematisch sind, sondern daß sie sich in verschiedener Weise in das System des Gesamtwissens einordnen, je nachdem man dabei von der Methode der Forschung oder vom materiellen Inhalt der Probleme ausgeht; daß also die merkwürdigste physiologische oder ökologische Erscheinung zugleich „systematisch“ verwertet werden kann (wie die oben erwähnten Blutreaktionen) usw.

Nachdem die Unzulänglichkeit dieses neuen Angriffs auf das biogenetische Grundgesetz hinreichend klargestellt wurde, wendet sich der Blick nochmals dem anderen Extrem zu, den unbedingten Anhängern des biogenetischen Gesetzes in seiner ursprünglichen Fassung. Vor allem seinem Neubegründer — HAECKEL selbst. Er hält bekanntlich selbst noch in den neuesten Publikationen an der ursprünglichen Fassung des biogenetischen Gesetzes fest, wonach „die Ontogenie eine Rekapitulation der Phylogenie“ darstellt (wobei aber die Notwendigkeit „einer kritischen Unterscheidung der beiden Seiten jenes Grundgesetzes, der Palingenie und der Cänogenie“, betont wird, z. B. in dem dritten Bande der „Systematischen Phylogenie“, S. 629). Nur beiläufig soll erwähnt werden, daß in der unsicheren Begriffsbestimmung der „Phylogenie“ von Anfang an eine Quelle für ein Mißverständnis lag. Während nämlich einige glauben, daß die Rekapitulationserscheinungen selbst zu den Beweismitteln der Deszendenztheorie gehören, wird von den anderen angenommen, daß von der Rekapitulation nur dann die Rede sein kann, wenn die Deszendenztheorie bereits vollkommen anerkannt ist. Daß ich die letztere Deutung für die richtige halte, dürfte aus dem oben über FLEISCHMANN Gesagten klar sein. Damit ist aber auch klar, daß ich unter „Phylogenie“ nur die Stammbaumfrage, nicht die ganze Entwicklungslehre verstehen kann.

Die Frage nach der logischen Form der Aussage von der Rekapitulation muß zunächst nach demselben Prinzip untersucht werden, wie dies bei dem „Parallelismus von Anlage und Anlageprodukt“ geschehen ist. Wenn man nämlich unter „Gesetz“ einen bestimmten Typus von Aussagen versteht (s. oben), so ist auch die Ähnlichkeit der Phylogenie und Ontogenie kein eigentümliches Gesetz, da die eine von diesen Erscheinungen nicht an sich bekannt ist, sondern erst aus der anderen, eben aus der Ontogenie erschlossen werden soll (schon SPITZER [1886] äußerte Zweifel an der Berechtigung der Bezeichnung dieses Satzes als „Gesetz“, ging aber mit der Bemerkung darüber hinweg, dieser Satz verdiene doch immer noch mehr als der „Pithecometra-Satz“ den Namen eines Gesetzes. Die Frage ist also nicht neu und ich will mich auch bei dieser formalen Seite nicht lange aufhalten).

Um auf den Inhalt selbst zu kommen, so ist hier zunächst eine wichtige Frage, ob man die „Rekapitulation“ so versteht, daß man in den embryonalen Formzuständen leibhaftige Ahnen, oder vielmehr so, daß man nur Vorstufen der Formzustände einzelner Or-

gane erblickt. Unsere sprachlichen Mittel und unsere Vorstellungen sind nun einmal derart, daß wir uns unter „Acraniern“, „Cyklostomen“ usw. eben diejenigen Tiere vorstellen, denen dieser Name beigelegt wird und zwar mit allen ihren uns heute bekannten Eigenschaften. Wir können daher nicht umhin anzuerkennen, daß die Anhänger der ursprünglichen Fassung des biogenetischen Gesetzes in den embryonalen Wiederholungen die Verkörperungen leibhafter Ahnen erblicken. So lesen wir in der „Systematischen Phylogenie“, Bd. 3, S. 619: „IV. Die primitive Vertebration der Spondula oder Vertebrella (§ 33), die Entstehung derselben durch metamere Gliederung der Chordula führt den Beweis, daß der Mensch, gleich allen übrigen Wirbeltieren, ursprünglich von Acraniern abstammt (Prospondylia, § 16). V. Die Keimform, welche der menschliche Embryo nach Verlauf von 21 Tagen erlangt hat, und welche eine Länge von ungefähr 5 mm besitzt, ist von besonderer Wichtigkeit (Archicranula): der Keim besitzt bereits die Anlage der drei primären Hirnblasen, der drei höheren Sinnesorgane, der Kiemenspalten und des Herzens; es fehlt aber noch jede Spur von Gliedmaßen. Wir können daraus auf eine entsprechende Ahnenform aus der Klasse der Cyklostomen schließen (Archicrania, § 212).“ — Wollte man diese Art der Anschauung mit Konsequenz durchführen, so müßte man in den aufeinanderfolgenden Formzuständen des Embryo ebensoviele Vorfahren, als Angehörige bestimmter heute noch lebender oder ausgestorbener Klassen, Ordnungen usw. erblicken. Bedenkt man, daß die soeben zitierten Aeüßerungen nicht aus einem populären Buch entnommen sind, sondern aus einem streng wissenschaftlichen, nur für Fachkreise geschriebenen; bedenkt man ferner, daß es nicht aus der Sturm- und Drangperiode des Darwinismus stammt, sondern aus dem Jahre 1895, so muß man doch sagen, daß der Neubegründer des biogenetischen Grundgesetzes heute noch an der soeben gekennzeichneten Auffassung desselben festhält.

Nun lassen sich gegen diese extreme Auffassung Einwände geltend machen, die den Anhängern derselben nicht unbekannt geblieben sind. Erstens liegt es in der Natur der Entwicklung eines kompliziert gebauten Tieres aus dem Zustande des befruchteten Eies, daß gewisse Formzustände notwendig anderen vorausgehen müssen, ohne daß es auf eine entsprechende Ahnenform zu schließen berechnigte. Ein gliedmaßenloser Zustand muß der Entstehung der Gliedmaßen vorausgehen, wenn anders man sich die Entwicklung epigenetisch und nicht als bloße Herauswicklung (Evolutio) denkt. Es ist kein zwingender Schluß, daß der Mensch von cyklostomenartigen Ahnen stammt, weil er auch einen gliedmaßenlosen Formzustand durchläuft. Dies führt uns auf einen ganz prinzipiellen Punkt. Damit eine Hypothese oder Theorie aufgestellt, diskutiert, angenommen oder verworfen werden soll, muß doch zuerst ein Problem da sein, das durch jene Hypothese oder Theorie beseitigt werden soll. Vor ein solches Problem stellt uns wohl die Tatsache, daß ein Insekt im embryonalen Zustand Anlagen von Anhängen am Hinterleib zeigt, während das ausgebildete Insekt in dieser Region keine Anhänge trägt. Dasselbe gilt von der Anlage der hinteren Gliedmaßen der Wale, ihrer Zähne, von den getrennten Mittelfußknochen der Vogel-embryonen usw. usw. Es wird also vor allem die Frage zu stellen sein, welche Formzustände des Embryo in uns das Bedürfnis nach

einer derartigen Deutung erwecken. Und die Antwort ist, daß es nicht alle Formzustände sind, sondern nur gewisse, solche nämlich, in denen die Abweichungen des Embryo vom ausgebildeten Tiere nicht ohne weiteres als notwendig erscheinen. Daß der Embryo einen einzelligen Zustand durchläuft, daß diese Zelle durch Teilung einen Haufen von Zellen erzeugt, daß das gliedmaßentragende Tier doch einmal einen gliedmaßenlosen Zustand und das zähnetragende einen zahnlosen Zustand durchmacht, das stellt uns nicht vor Abstammungsprobleme, das würde auch dann noch in gleicher Weise geschehen, wenn die Arten nicht von anderen Arten abstammen würden. In dieser Erkenntnis liegt der Wahrheitskern der von His und GÖTTE und den modernen Entwicklungsmechanikern gegen die einseitige Fassung des biogenetischen Gesetzes erhobenen Einwände.

Es gibt aber auch eine Reihe von embryonalen Formzuständen, die zwar nicht in diesem Sinne den Stempel der Notwendigkeit an sich tragen, und daher wohl Erklärungen erheischen, die aber nicht auf Ahnenzustände zurückgeführt werden dürfen, weil es sich dabei um offenkundige Anpassungen handelt. Man denke an die Embryonalhüllen der viviparen Säugetiere, an die verschiedensten Organe der pelagischen Larven, der Raupen usw.

Nun wird man sagen, auch die extremen Anhänger des biogenetischen Gesetzes haben ja in der Cänogenese eine Quelle möglicher Täuschungen erblickt und häufig genug betont, daß die cänogenetischen Erscheinungen von der Deutung als Ahnenzustände ausgeschlossen bleiben. Das will ich auch nicht bestreiten. Ich kann aber zeigen, daß man sich mit der Zulassung der Cänogenese in eine Situation versetzt, die unvermeidlich zu einem typischen Zirkelschluß führt. Nämlich wie bestimmt man, was cänogenetisch ist? Doch nur auf Grund der aus der Morphologie mitgebrachten Anschauungen über primäre und sekundäre Formzustände. Man sagt, dieses oder jenes kann nicht als Ahnenzustand gedeutet werden, weil es für dieses betreffende Organ nicht ein primärer, nicht ein ursprünglicher, sondern ein abgeleiteter Zustand ist. Dann ist aber klar, daß wir nicht erst aus dem Verlauf der Ontogenie die Phylogenie des betreffenden Organes erschlossen, sondern die Vorstellungen über den ursprünglichen Formzustand dieses Organs bei den Vorfahren aus der Morphologie mitgebracht haben.

Man steht also hier vor einer Alternative: entweder in den Formzuständen der Embryonen wirkliche Ahnen von bestimmter Stellung im System zu erblicken oder nur ursprünglichere Zustände einzelner Organe. Im ersten Falle wäre es eine reichlich fließende Quelle der Belehrung über den Stammbaum der Arten, bliebe aber mit dem Fehler behaftet, daß Manches rein physikalisch Notwendige und Manches auf Anpassung Beruhende unberechtigt in die Ahnengalerie hineinprojiziert würde. Im anderen Falle wären solche grobe Fehler ausgeschlossen, die Schlußfolgerung über den Zustand der in Betracht gezogenen Organe der Vorfahren wäre ziemlich sicher, aber dafür ist dann die Bedeutung des ganzen Gesetzes beträchtlich eingeschränkt, denn man bekäme dann nur embryologische Bestätigungen zu dem, was man schon aus der Morphologie weiß. Ich glaube, man wird mit der Zeit einsehen müssen, daß eine solche Alternative wirklich besteht und daß man gezwungen ist, zwischen den beiden Standpunkten zu wählen.

Sind wir aber bis zu dieser Alternative vorgedrungen, so wird es nicht schwer fallen, in der kritischen Sichtung noch einen Schritt weiter zu tun und zuzugeben, daß es für die Erkenntnis der auf dem betreffenden Gebiete waltenden Gesetzmäßigkeit nicht günstig war, daß die ganze Forschung nur in den Dienst der Stammbaumfrage gestellt worden ist. Nur so konnte es kommen, daß die als Notbehelfe aufgestellten Begriffe der Cänogenese, Heterochronie usw. so lange im Vordergrund der Diskussionen gestanden haben und eine übersichtliche logische Gliederung des ganzen Problems nicht aufkommen ließen. Von einem unvoreingenommenen kritischen Standpunkte aus stellt sich die Sache so dar:

Die Gesetzmäßigkeiten der Gestaltung offenbaren sich nicht nur bei ausgewachsenen Tieren, sondern auch im Werden der individuellen Form. Die Eigenart der embryonalen Gestalten und die Aufeinanderfolge der Formzustände verlangt eine Erklärung. Es werden manche reale Beziehungen zu den Faktoren der umgebenden Welt festgestellt werden müssen. Solche Erklärungen sind kausaler Natur. Dann werden die (teleologischen) Beziehungen zwischen der Aufeinanderfolge der Entfaltungserscheinungen und der Funktion der fertigen Organe gesucht werden. So soll schon ARISTOTELES festgestellt haben, daß die Reihenfolge, in der die Organe auftreten, sich nach ihrer physiologischen Bedeutung richtet (vgl. R. BURCKHARDT, Geschichte der Zoologie, S. 32). Für den Anhänger der Entwicklungslehre ergeben sich noch weitere Erklärungen. In zahllosen Fällen sind die Formzustände vieler Organe beim Embryo primitiver als beim Erwachsenen. Was ursprünglich und was abgeleitet ist, das entnehmen wir der Betrachtung der Organe lebender und fossiler Vertreter der betreffenden Tiergruppe. Das Fehlen der oberen Schneide- und Eckzähne bei den Huftieren ist ein abgeleiteter Zustand. In der Sprache der Deszendenztheorie, die wir als bewiesen voraussetzen, heißt das, daß die Wiederkäuer sich aus andersartigen, heute nicht mehr lebenden Tieren entwickelt haben, die im erwachsenen Zustande noch obere Eck- und Schneidezähne besessen hatten. Nun zeigen die Embryonen der Wiederkäuer Anlagen von oberen Schneide- und Eckzähnen, und zwar selbst in den Familien, wo sie im erwachsenen Zustande nie vorkommen (Hohlhörner und Giraffen). Daran läßt sich ferner die interessante Tatsache anknüpfen, daß die Kamele im Milchgebiß drei, im Dauergebiß nur einen oberen Schneidezahn in jeder Kieferhälfte aufweisen. Wir erklären uns diese Erscheinungen als embryonale Wiederholung der Formzustände, die bei den ausgestorbenen Vorfahren der lebenden Arten sich auch bei ausgewachsenen Tieren fanden. Das ist der Wahrheitskern des biogenetischen Grundgesetzes, der zu Recht bestehen bleibt. Man wende dieselbe Betrachtung auf die Abdominalanhänge der Insekten, auf die Spaltfüße und einreihigen Füße der Krebse, auf die Beschaffenheit des Vogelbeins, auf die Haar- und Zahnlosigkeit der Bartenwale und auf Hunderte anderer Fälle an; überall ergibt sich dasselbe Resultat. Wir bringen aus der Morphologie ein Urteil über ursprüngliche und abgeleitete Formzustände der Organe mit. Wir finden, daß in allen diesen Fällen der Formzustand dieser Organe bei den Embryonen primitiver ist als bei den ausgewachsenen Tieren. Wir deuten das als Rekapitulationen und finden

darin eine willkommene Bestätigung für unsere Vorstellungen über den mutmaßlichen Zustand dieser Organe bei den Vorfahren der betreffenden Tiergruppe.

Der Unterschied dieser Formulierung von der landläufigen ist erheblich. Sagt man: wir ersehen aus der Entwicklung des Individuums die Entwicklung des Stammes, so muß man gleich hinzufügen, daß vieles, was man an dem sich entwickelnden Embryo wahrnimmt, nicht als Phasen aus der Entwicklung des Stammes gelten kann. Man kommt zur Aufstellung von Cänogenesen, für die man kein sicheres Kriterium hat, man muß von zeitlichen Verschiebungen (Heterochronien) sprechen, ohne die Norm des zeitlichen Verlaufs zu kennen. Denn die einzige Instanz, an die man dabei appelliert, bleibt die Morphologie der lebenden und fossilen Arten. Die Entwicklung des Stammes ist als Vorgang von der Entwicklung des Individuums so grundverschieden und uns so wenig unmittelbar gegeben, daß die Betrachtungen über Cänogenesen und Heterochronien wie Spekulationen über zahlreiche Ausnahmen von einer nicht bekannten Regel aussehen.

Sagt man dagegen: die Fälle, in denen die Formzustände der Embryonen ursprünglicher sind als diejenigen der erwachsenen Tiere, erklären wir uns als Wiederholungen der dauernd ursprünglichen Formzustände bei den Vorfahren der Art, so setzt man sich im Kreise der Anhänger der Deszendenztheorie absolut keinem Einwande aus. Denn es ist bei dieser Formulierung nur dasjenige als Wiederholung von Ahnenzuständen interpretiert, worin sich die Embryonen gegenüber den Erwachsenen wirklich primitiv verhalten. Es ist dann aber einleuchtend, daß daneben noch zahlreiche Gesetzmäßigkeiten bestehen bleiben, die noch zu selbständigen Forschungen Anlaß bieten. Der Zusammenhang zwischen der Anlagezeit und dem „phyletischen Wert“ eines Organs (ob es ein in Fortbildung oder in Rückbildung befindliches Organ ist), was in neuester Zeit besonders von MEHNERT studiert wurde und zahlreiche ähnliche Fragen erscheinen uns gar nicht mehr als bloße Anhängsel und Einschränkungen der universellen Rekapitulationstheorie, sondern als ebenso viele selbständige Probleme im Bereich der Gesetzmäßigkeiten der Formentfaltung. Cänogenese, Heterochronie u. a. sind für uns überflüssige Begriffe. Und wenn sich gelegentlich herausstellt, daß in manchen Fällen die Larve einen zweifellos abgeleiteten Formzustand eines Organs aufweist, während das erwachsene Tier dasselbe in einem ursprünglichen Zustande besitzt (die Diptere *Stratiomys* hat als Larve ein stark konzentriertes Nervensystem, als Imago ein langgestrecktes, also primitiveres), so ändert das kein Jota an der Aussage, daß wir primitive Formzustände der Embryonen in Tausenden von Fällen als Rekapitulation von Ahnenzuständen deuten.

Endlich sei noch darauf hingewiesen, daß bei dieser der Wirklichkeit entsprechenden und von jeder Uebertreibung nach beiden Richtungen gesäuberten Formulierung die embryonale Wiederholung ursprünglicherer Formzustände selbst wieder als ein Problem erscheint, das noch der Erklärung durch die Variations- und Vererbungsgesetze bedarf. Ich stehe in dieser Beziehung auf dem gleichen Standpunkt wie E. SCHULZ, der seine Mittelstellung zwischen „den vergleichenden Morphologen und den Entwicklungsmechanikern“ so formuliert: „Daß das biogenetische Grundgesetz wirklich

überall zutage tritt, wo es kann und wie es kann, ist nicht zu leugnen, ebenso, daß es aber selbst noch der Erklärung bedarf.“ Von den „vergleichenden Morphologen“, insbesondere von HAECKEL, sagt SCHULZ, daß sie das Gesetz als genügende mechanische Erklärung der morphologischen Prozesse ansehen, während die Entwicklungsmechaniker es meistens ganz mißachten.

Im Bereich der dritten Frage der Genetik, des Problems der Faktoren der organischen Entwicklung, hat die Morphologie eine wichtige Aufgabe: die Gesetze der Formwandlung festzustellen. Was den Charakter der Forschung anbetrifft, so ist hier das Experiment als der vornehmste Weg zum Ziel anzusehen, wenn wir unter Experiment eine zielbewußte Variation und Isolation der Umstände verstehen, die es erlauben, die Ursachen der Erscheinung herauszuschälen. Ich brauche hier über diese Seite der Morphologie nicht viel Worte zu verlieren, da die heutige Zoologie ja geradezu im Zeichen der experimentellen, oder sagen wir lieber kausalen Vererbungs- und Variationsforschung steht. Für eine historische Darstellung ist die Zeit noch nicht gekommen, auch ist noch manches in den logischen Grundlagen nicht so weit abgeklärt, daß man in wenigen Worten dazu Stellung nehmen könnte. Nur eines kann man schon heute sagen: es ist der neuen Richtung nicht erspart geblieben, in ein Extrem zu verfallen und alles, was nicht auf experimentellem Wege erforscht worden ist, mit Geringschätzung zu betrachten. Mag nun aber von den „vergleichenden“ Morphologen bei dem Haschen nach Homologien und nach Ahnenzuständen manchmal gesündigt worden sein, die „experimentierenden“ Morphologen müssen doch mit der Tatsache rechnen, daß sich bei der Erforschung der Erscheinungen der Form nicht alle Faktoren variieren lassen, da die Existenz bestimmter, einmal gegebener Formen in diese Forschung eine idio-graphische Komponente hineinbringt.

Und so bringt denn eine logische Betrachtung der heutigen Morphologie eine Korrektur in die beiden extremen Gedankenkomplexe: wo die Neigung besteht, alles, was nicht experimentiert, aus der eigentlichen Wissenschaft auszuschließen, da muß darauf hingewiesen werden, daß die Morphologie nicht auf die Form der reinen Gesetzeswissenschaft gebracht werden kann. Wo aber die umgekehrte Tendenz besteht, dem Begriffe der „vergleichenden“ Morphologie einen methodologischen Sinn beizulegen, da muß durch historische Aufklärung dieser zu engen, weder logisch noch historisch berechtigten Auffassung entgegengetreten werden. Der moderne Begriff der Morphologie ist weit genug, um sämtliche Forschungen über die Formerscheinungen in der Tierwelt zu umfassen.

Literatur.

- Assmann, E. W., Quellenkunde der vergleichenden Anatomie als Vorläufer einer pragmatischen Geschichte der Zootomie. Braunschweig 1847.*
Blumenbach, Handbuch der vergleichenden Anatomie. Göttingen 1805 und 1815.
Boveri, T., Die Organismen als historische Wesen. Rektoratsrede. Würzburg 1906.
Braus, Experimentelle Beiträge zur Morphologie. Leipzig 1906.

- Bronn**, *Morphologische Studien über die Gestaltungsgesetze der Naturkörper überhaupt und der organischen insbesondere*. Leipzig u. Heidelberg 1858.
- Burckhardt, R.**, *Geschichte der Zoologie*. Leipzig 1907.
- Carus, J. V.**, *Geschichte der Zoologie*. München 1872.
- *System der tierischen Morphologie*. Leipzig 1853.
- Cuvier, G.**, *Vorlesungen über vergleichende Anatomie*. Deutsch von Froriep und Meckel. Leipzig 1809/10. 4 Bde.
- *Le Règne animal distribué d'après son organisation*, 1. Aufl., 1817.
- *Geschichte der Naturwissenschaften seit 1789 bis auf den heutigen Tag*. Deutsch von Wiese. Leipzig 1828/29.
- Driesch, H.**, *Von der Methode der Morphologie*. Biologisches Centralbl., 1899.
- *Die Biologie als selbständige Grundwissenschaft*. Leipzig 1893 (2. Aufl. 1911).
- Gegenbaur, C.**, *Grundzüge der vergleichenden Anatomie*. Leipzig 1859, 2. Aufl. 1870.
- *Die Stellung und Bedeutung der Morphologie*. Morphologisches Jahrb., Bd. 1, 1876.
- *Erlebtes und Erstrebtes*. Leipzig 1902.
- Geoffroy Sainte-Hilaire, Isidore**, *Vie, travaux et doctrine scientifique de Etienne Geoffroy Sainte-Hilaire*. Paris 1847.
- Haeckel, E.**, *Generelle Morphologie*. Berlin 1866.
- *Systematische Phylogenie*. Berlin 1895, Bd. 3.
- Hertwig, O.**, *Elemente der Entwicklungslehre*. Jena 1910, 4. Aufl.
- *Handbuch der vergleichenden und experimentellen Entwicklungslehre der Wirbeltiere*. 3. Bd., 3. Teil. Jena 1906.
- Keibel, F.**, *Das biogenetische Grundgesetz und die Cänogenese*. Ergebnisse d. Anatomie und Entwicklungsgesch., Bd. 7, 1897.
- Meckel, J. F.**, *System der vergleichenden Anatomie*. Halle 1821/35. 6 Bde.
- Mehnert**, *Kainogenesis*, 1897, und *Biomechanik*, 1898.
- Schmidt, Oskar**, *Die Entwicklung der vergleichenden Anatomie*. Jena 1855.
- Schulz, E.**, *Prinzipien der rationellen vergleichenden Embryologie*. Leipzig 1910.
- Siebold und Stannius**, *Lehrbuch der vergleichenden Anatomie*. 1. Teil, Wirbellose, von Siebold, 1848.
- Tschulok, S.**, *Das System der Biologie in Forschung und Lehre*. Jena 1910.
- Windelband, W.**, *Geschichte und Naturwissenschaft*. Rektoratsrede. Straßburg 1894.

Inhalt.

	Seite
1. Einleitung	1
2. Nomothetische und idiographische Komponente in der Biologie .	3
3. Einteilung der biologischen Forschung nach der logischen Natur der Probleme	6
4. Einteilung der Biologie nach der materiellen Natur der Probleme	9
5. Kombination der beiden Einteilungen	11
6. Was sind besondere Disziplinen im praktischen Sinne?	13
7. Aus der Geschichte der vergleichenden Anatomie (von SEVERINO bis GEGENBAUR)	16
8. Nachweis, daß die vergleichende und die experimentelle Morpho- logie keine methodologischen Antipoden sind	28
9. Die Beziehung der Morphologie zu den Problemen der Ent- wickelungslehre. HAECKELS biogenetisches Grundgesetz und das ontogenetische Kausalgesetz von O. HERTWIG	33
Literatur	49

II. Abschnitt.

Zeugungslehre.

Von
Prof. V. Haecker, Halle a. S.

Mit 55 Figuren im Text.

I. Einleitung. Uebersicht der Fortpflanzungsarten.

Zeugung oder Fortpflanzung ist die von Elternorganismen ausgehende Neubildung von Individuen. Gewöhnlich ist damit eine Vermehrung der Gesamtzahl der Individuen verbunden. Es werden daher in der Regel die Worte Fortpflanzung, Zeugung und Vermehrung ungefähr in demselben Sinne gebraucht, wobei „Fortpflanzung“ den allgemeinsten Begriff darstellt, „Zeugung“ den eigentlich bewirkenden Akt und „Vermehrung“ einen bestimmten Erfolg der Fortpflanzung bedeutet.

In der Welt der cellulär gebauten Organismen überhaupt kommen zwei Haupttypen der Fortpflanzung vor: die von Einzelzellen oder Auxocyten (den Individuen der Einzelligen und den Fortpflanzungszellen der Vielzelligen) ausgehende **cytogene** und die durch Zellenkomplexe, bei Einzelligen durch vielkernige Plasmamassen oder Plasmodien vermittelte **vegetative** Vermehrung.

Zu dem ersten Haupttypus gehören:

1) Die ungeschlechtliche (einelterliche) Vermehrung, Monogonie — besser vielleicht Monocytogonie¹⁾ — oder Agamogonie der Einzelligen, d. h. die durch Teilungsakte bewirkte und ohne Zellpaarungsprozesse vor sich gehende Vermehrung der Individuenzahl.

2) Die geschlechtliche (zweielterliche) Vermehrung, Amphigonie oder Gamogonie der Einzelligen, d. h. die mit Zellpaarungs- oder Konjugationsprozessen verbundene Vermehrungsart.

3) Die primäre Monogonie oder besser primäre Monocytogonie (ungeschlechtliche, einelterliche Vermehrung im engsten Sinne) der Vielzelligen, nämlich die von einzelnen Fortpflanzungszellen ausgehende, nicht mit Zellpaarungs- oder Befruchtungsakten verbundene Vermehrungsweise der Vielzelligen, soweit sie nicht

1) Die Ausdrücke Monogonie, monogone Fortpflanzung sind mehrdeutig, da sie, ebenso wie die Bezeichnung „ungeschlechtliche Vermehrung“, vielfach in einem weiteren Sinn angewandt werden (s. unten). Vielleicht empfiehlt sich daher das in Anlehnung an den HARTMANNschen Ausdruck Cytogonie gebildete Wort Monocytogonie.

durch Rückbildung von Befruchtungsakten aus der geschlechtlichen Fortpflanzung entstanden sind. Ein Beispiel von weiterem vergleichend-fortpflanzungsgeschichtlichem Interesse stellt die Sporogonie der höheren Kryptogamen dar. Nach Ansicht einiger Forscher sind Spuren einer zurückgebildeten primären Monogonie auch bei vielzelligen Tieren zu finden.

4) Die geschlechtliche (zweielterliche) Vermehrung oder Amphigonie der Vielzelligen: die mit der Bildung dimorpher Fortpflanzungszellen und mit Befruchtungsakten verbundene Vermehrung.

5) Die von der Amphigonie abgeleiteten Formen der Jungferzeugung oder Parthenogenesis und der Jugendzeugung oder Pädogenesis, bei welchen der Befruchtungsakt sekundär unterdrückt worden ist und demgemäß nur eine einzige Fortpflanzungszelle, nämlich die Eizelle, den Ausgangspunkt für die neue Generation bildet. Es können diese beiden Vermehrungsarten als sekundäre Monocytogonie zusammengefaßt werden.

Der zweite Haupttypus, die vegetative Vermehrung, ist bei den vielzelligen Wirbellosen unter den verschiedenen Formen der Querteilung, Längsteilung und Knospung weit verbreitet und findet in den Sprossungsvorgängen mancher vielkerniger (plasmodial gebauter) Einzelliger, sowie in der vegetativen Vermehrung (Sprossung, Brutknospenbildung) der höheren Pflanzen ein Seitenstück.

Neben der hier durchgeführten Einteilung wird auch jetzt noch vielfach zwischen geschlechtlicher (zweielterlicher, amphigoner) und ungeschlechtlicher (einelterlicher, monogoner) Fortpflanzung unterschieden. Zur ungeschlechtlichen Fortpflanzung in diesem weitesten Sinne werden dann alle Vermehrungsarten gerechnet, die nicht mit Konjugations- oder Befruchtungsakten verbunden sind, also die Monogonie der Einzelligen, die primäre und sekundäre Monogonie der Vielzelligen und die vegetative Vermehrung.

Vielfach sind mehrere Fortpflanzungsarten miteinander kombiniert, in der Weise, daß sie mehr oder weniger regelmäßig miteinander abwechseln und also ein Generationswechsel stattfindet. Es kommen bei den cellulär gebauten Organismen drei verschiedene Formen des Generationswechsels vor:

1) Der primäre Generationswechsel als Wechsel zwischen Amphigonie und primärer Monocytogonie, so der Generationswechsel der Einzelligen, Mesozoen (*Volvox globator*, *Dicyemiden* und *Orthonectiden*) und höheren Kryptogamen.

2) Der regressive Generationswechsel (*Heterogonie*) als Wechsel zwischen der Amphigonie und der sekundären, durch Rückbildung des Befruchtungsprozesses entstandenen Monocytogonie, z. B. der Generationswechsel der Trematoden und Cladoceren.

3) Der progressive Generationswechsel (*Metagenesis*) als Wechsel zwischen der Amphigonie und der vegetativen Fortpflanzung, welch' letztere gegenüber der cytogenen Vermehrung als Neuerwerb zu betrachten ist, z. B. der Generationswechsel der Hydroidpolypen und Salpen.

Im folgenden sollen die bei den einzelligen Tieren (Protozoen) und bei den wirbellosen Vielzelligen (wirbellosen Meta-

zoen) verbreiteten Fortpflanzungsweisen behandelt werden, wobei jedoch einige auf die Geschlechtszellen bezügliche Beispiele dem Gebiete der Wirbeltiere entnommen werden.

II. Fortpflanzung durch Einzelzellen (Cytogonie).

A. Die Fortpflanzung der Einzelligen.

a) Allgemeines über die Vermehrung durch Zweiteilung oder mittels Auxontenbildung (Hemitomie und Polytomie).

Bei den rein hemitomen Einzelligen, bei welchen als einziger Teilungsmodus die symmetrische Zweiteilung von Kernsubstanz und Zellplasma vorkommt, stellt jeder Zellteilungsakt einen wirklichen, zur alsbaldigen Individualisierung der Teilprodukte und zur Vermehrung der Individuenzahl führenden Fortpflanzungsakt dar. Es können demnach sämtliche Zellen direkt mit den reifen Fortpflanzungszellen der Vielzelligen verglichen werden und es treten keine Zellgenerationen auf, welche den Stamm-, Ur- und Mutterzellen der Fortpflanzungszellen entsprechen, und also auch keine Vorgänge, die der Entwicklung der Fortpflanzungszellen der Vielzelligen, der Gametogenesis, homolog zu setzen sind.

Es ist sehr fraglich, ob in irgendeiner Gruppe von Protozoen Verhältnisse von dieser idealen Einfachheit vorkommen. Sind doch auch bei denjenigen Formen, bei welchen die Zweiteilung in besonders typischer Form auftritt, also bei vielen Flagellaten und bei den meisten Infusorien, zwischen die eigentlichen Vermehrungsprozesse gewisse, allerdings rudimentäre Teilungsvorgänge (die Reifungsteilungen) eingeschaltet, welche nicht zur Bildung neuer Individuen führen. Es stellt also nicht einmal bei diesen Formen jeder Teilungsakt einen zur Vermehrung der Individuenzahl führenden Fortpflanzungsprozeß dar.

Bei der Fortpflanzung der meisten Protozoen spielt nun aber die Zweiteilung in der erwähnten einfachen Form und die damit verbundene sofortige Individualisierung der Teilprodukte, falls ein solcher Prozeß überhaupt vorkommt, gar nicht die dominierende oder ausschließliche Rolle, die ihr früher in allgemeinen Darstellungen zugeschrieben wurde. Vielmehr findet man als eine sehr weitverbreitete Erscheinung Zustände, in denen eine größere Zahl von Teilungsprodukten kürzere oder längere Zeit miteinander in Verbindung bleiben und auf diese Weise vielkernige Plasmamassen (Plasmodien) oder Haufen von locker miteinander verbundenen Zellen (Kolonien) bilden.

Diese Zustände, die man vielleicht zweckmäßig als Auxonten bezeichnen kann, entstehen entweder 1) auf dem Wege einer sukzessiven Zweiteilung der ganzen Zellen (Volvocineen, Fig. 1), oder 2) durch

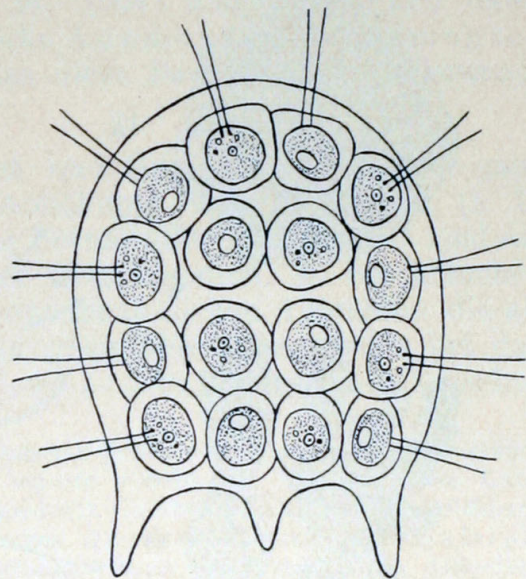


Fig. 1. **Platydictyonkolonie** nach KOFOLD.

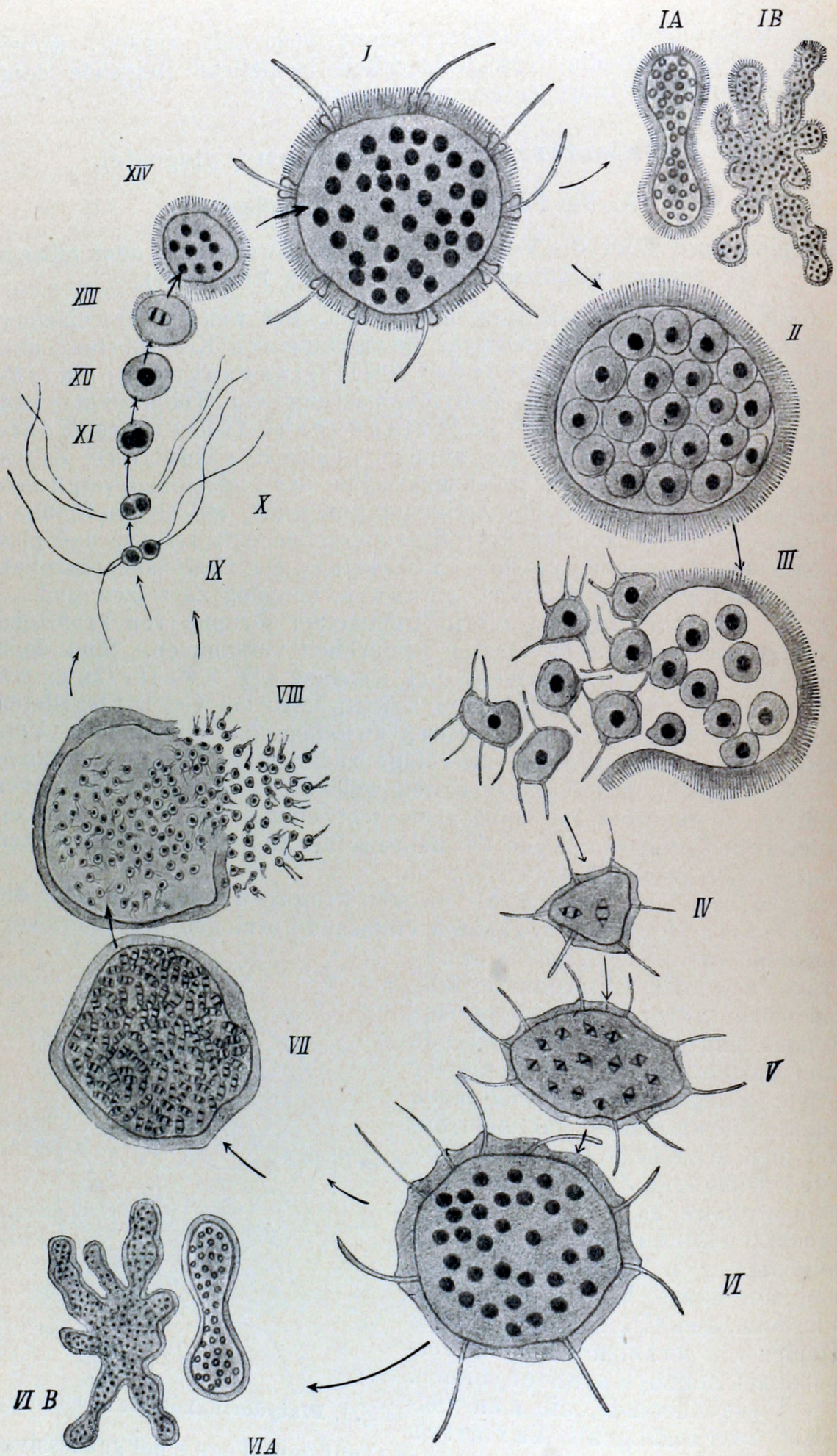


Fig. 2.

Fig. 2. **Schematische Darstellung des Zeugungskreises von Trichosphaerium sieboldi** SCHN. *I* ausgebildeter Agamont (Amphiont), *IA* und *IB* vegetative Vermehrung des Agamonten, *II—III* Schlußakt der ungeschlechtlichen oder agamogonen Vermehrung: Zerfall des Agamonten in die Agameten, *IV* jugendliches Geschlechtsindividuum oder Gamont, *V—VI* Entwicklung zum ausgebildeten Gamonten, *VIA* und *VIB* vegetative Vermehrung des Gamonten, *VII* Gamont in lebhafter Kernvermehrung, *VIII* vorletzter Akt der geschlechtlichen oder gamogonen Vermehrung: Zerfall des Gamonten in die Gameten und Ausschwärmen der letzteren, *IX—XII* letzter Akt der geschlechtlichen Vermehrung: Karyogamie je zweier Gameten, *XIII* Bildung der Stäbchenhülle und erste Kernteilung im jungen Agamonten, *XIV* junger Agamont etwas weiter ausgebildet. Aus LANG nach SCHAUDINN. Terminologie in Anlehnung an HARTMANN abgeändert.

Sporenbildung (multiple Teilung, Zerfallteilung, Polytomie), in diesem Falle entweder durch rasch aufeinander folgende, zur Bildung sehr kleiner Abkömmlinge führende Zellteilungsakte oder auch durch sukzessive Kernteilungen und simultane Zellteilung (Trichosphaerium, Fig. 2; „Gänseblümchenform“ der Malariaparasiten), oder endlich 3) durch eine modifizierte Form der Sporenbildung, nämlich durch Auflösung eines Primärkerns in Teilkerne (Einzelknäuel, Chromidien) und nachfolgenden Zerfall des Plasmas (Radiolarien)¹⁾. Die Auxonten liefern ihrerseits unter vollständigem oder teilweisem Zerfall kleine, selbständige, vielfach als Schwärmsporen erscheinende Zellindividuen.

Wenn die aus der endgültigen Auflösung der Auxonten hervorgehenden Einzelzellen oder Auxocyten ohne paarweise Verbindung (Konjugation) zu weiterer Vermehrung gelangen, also Agameten darstellen, so werden die Auxonten als Schizonten (SCHAUDINN 1899), Amphionten (LANG 1901) oder Agamonten (HARTMANN 1903) bezeichnet; sind ihre Produkte auf den Konjugationsakt eingerichtet, sind diese also Gameten, so werden die Auxonten Sporonten (SCHAUDINN), Mononten (LANG) oder Gamonten (HARTMANN) genannt.

Auf gewisse Schwierigkeiten, welche einer allgemeinen Verwendung der Bezeichnungen Sporonten, Mononten und Amphionten entgegenstehen, hat HARTMANN (Biol. Centralbl., Bd. 24, 1904) hingewiesen und dabei seinerseits die zweckmäßigeren Ausdrücke Agamonten und Gamonten vorgeschlagen. Es sollen im folgenden diese Bezeichnungen angewandt werden.

Zuweilen zeigen die Agamonten und Gamonten eine nicht ganz eindeutig als Dimorphismus bezeichnete Verschiedenheit (z. B. Dimorphismus der Schalengestalt bei Foraminiferen), häufiger sind die Agameten und Gameten voneinander unterschieden, so bei manchen Foraminiferen, bei welchen den rhizopodenähnlichen Agameten die als Geißelschwärmer geformten Gameten gegenüberstehen, oder bei den Coccidien und Hämosporidien (Fig. 3), wo zu dem Unterschiede zwischen

1) Bezüglich der Terminologie der verschiedenen Typen von Sporenbildungsvorgängen besteht noch keine Uebereinstimmung. Ich möchte vorschlagen, den auch von LANG (1901, S. 195) beanstandeten HAECKELschen Ausdruck Conitomie als wenig bezeichnend auszuschalten und die geläufigen Bezeichnungen Sporenbildung und multiple Teilung in dem oben angenommenen allgemeinen Sinne anzuwenden. In demselben Sinne hat LANG den Ausdruck Zerfallteilung benutzt und ebenso dürfte es zweckmäßig sein, den von HAECKEL in einem sehr speziellen Sinne angenommenen Ausdruck Polytomie als gleichbedeutend mit Sporenbildung zu gebrauchen, um das handliche Adjektivum polytom zur Verfügung zu haben.

Agameten und Gameten noch die sexuelle Differenzierung der letzteren hinzukommen kann (s. auch unten).

Für die vergleichende Fortpflanzungsgeschichte ist die Entwicklung mittels Auxonten-ähnlicher Zustände, also die ganz oder teilweise polytome Entwicklung, wie man im Gegensatz zur hemitomen sagen kann, deshalb von Bedeutung, weil die fertigen Auxonten mit dem im Zustande vollkommener Geschlechtsreife stehenden Gesamtorganismus der Vielzelligen verglichen werden können; weil ferner die Entstehung der

Auxonten aus einem ursprünglich einzelligen Individuum und ihre weitere Entwicklung offenbar der Gametogenese, d. h. den zur Bildung der reifen Geschlechtszellen führenden Teilungs- und Differenzierungsprozessen analog ist und ihre Zerfallsprodukte den Fortpflanzungszellen der höheren Organismen entsprechen.

Ein Unterschied besteht hauptsächlich darin, daß bei der Entwicklung des vielzelligen Organismus aus dem einzelligen Ausgangsstadium neben den der Vermehrung dienenden Elementen auch somatische, der Ernährung und Erhaltung des Individuums und seines Fortpflanzungsapparates dienende Zellen gebildet werden. Der Unterschied wird indessen überbrückt durch die sogenannten Mesozoen (Volvox globator, Dicyemiden, Orthonectiden), bei welchen in einfachster Form die Differenzierung von Geschlechts- und Somazellen hervortritt und die

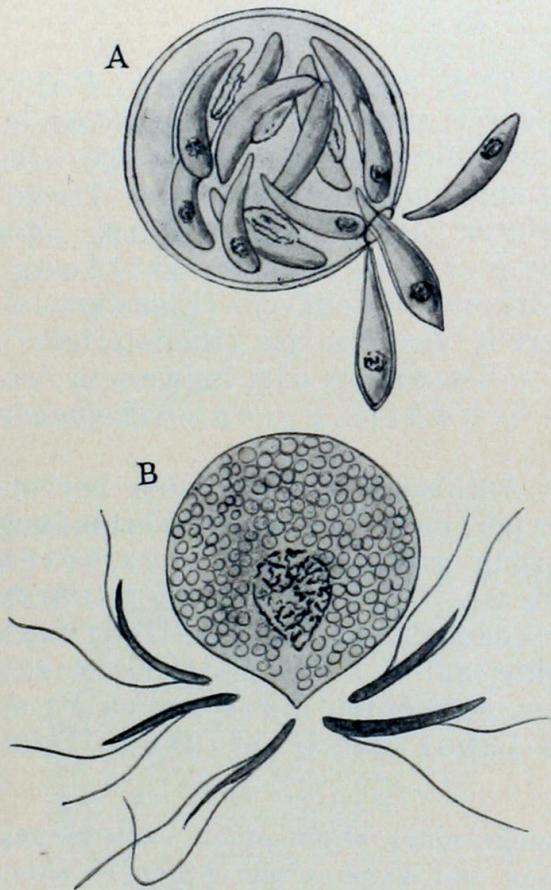


Fig. 3. Freiwerdende Agameten (A) und der von Mikrogameten umschwärmte Makrogamet (B) von *Coccidium schubergi*. Nach SCHAUDINN.

Entstehungsgeschichte der Geschlechtszellen sehr an die Verhältnisse bei den Metazoen erinnert.

b) Die Reifungsteilungen der Protozoen und ihre morphologische Bedeutung¹⁾.

An die Gametogenese der vielzelligen Tiere, und zwar speziell an die Periode der Ei- und Samenreife wird man besonders auch dann erinnert, wenn bei den Einzelligen die Entstehung der Gameten

1) Seit einer Reihe von Jahren habe ich versucht, den Beziehungen nachzugehen, welche die Reifungserscheinungen der Einzelligen, diejenigen der Vielzelligen, sowie die Sporenbildungsprozesse zueinander aufweisen (1897, 1898, 1911). Den eigentlichen Schlüssel für diese Zusammenhänge glaube ich inzwischen in den Fortpflanzungsvorgängen der polytomen Protozoen gefunden zu haben, so daß es mir nunmehr möglich erscheint, eine abgerundete Darstellung dieser Verhältnisse zu geben.

mit vorbereitenden, zur Bildung abortiver Kerne führenden Teilungen verbunden ist. Solche Teilungen, für welche jetzt allgemein die zunächst für die Vielzelligen gültige Bezeichnung Reifungsteilungen („Reduktionsteilungen“, Richtungskörperbildung) angewandt wird, treten besonders ausgeprägt bei der Fortpflanzung der ganz oder teilweise hemitomen Formen als Einleitung zu den Konjugationsprozessen hervor. Bekannte Beispiele bilden die Heliozoen, bei denen in jedem der konjugierenden Paarlinge der Kern an die Peripherie tritt und sich hier zweimal hintereinander unter Bildung eines abortiv werdenden „Reduktionskerns“ teilt (Fig. 4), sowie die Infusorien, deren Kleinkern auf Grund zweier vorbereitender Teilungen den Geschlechtskern und drei der Resorption anheimfallende Kerne liefert (Vorreife, progametische Reife).

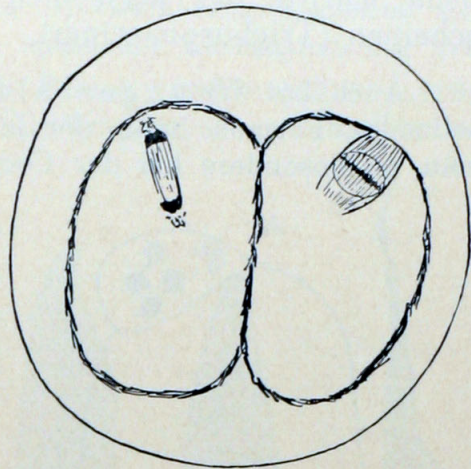


Fig. 4. Richtungskörperbildung bei **Actinophrys**. Nach SCHAUDINN.

Ähnliche, mit der Bildung abortiver Kerne verbundene Teilungsprozesse treten zuweilen, so bei den Infusorien (Fig. 5), sowie auf botanischem Gebiet bei manchen Algen, auch nach dem Konjugationsprozeß auf (Nachreife, metagametische Reife).

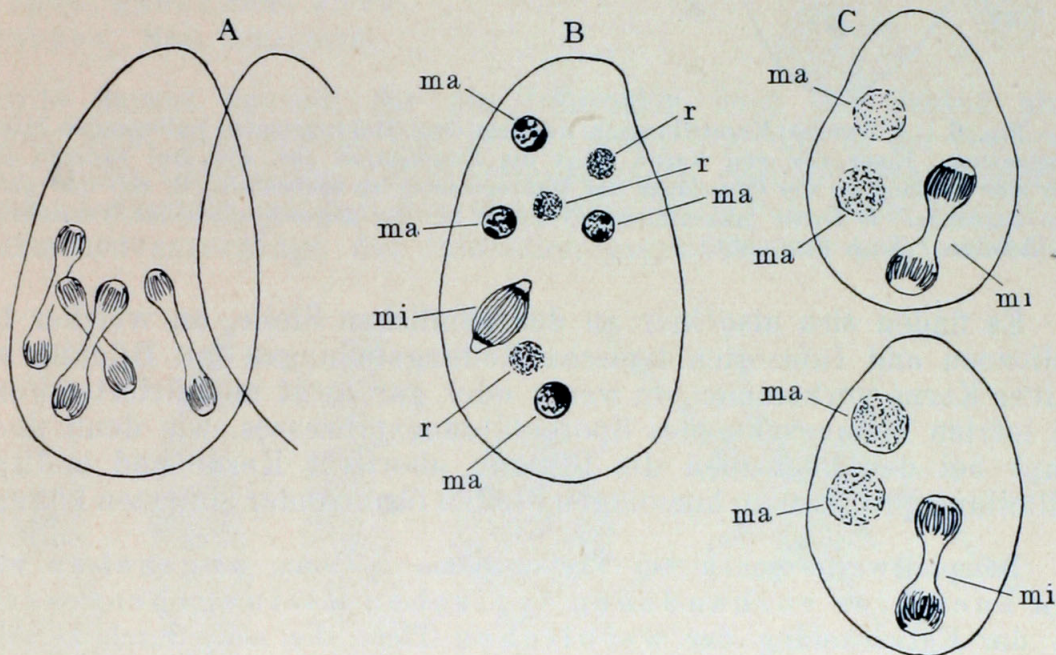


Fig. 5. Nachreife von **Paramecium**. A Dritte Teilung des Kopulationskerns. B Vier Kerne wachsen zu Macronuclei (*ma*) aus, drei gehen zugrunde (*r*), der achte teilt sich (*mi*). C Entstehung zweier Tochterzellen mit je zwei Macronuclei (*ma*) und einem Micronucleus (*mi*), der sich aufs neue teilt. Bei der folgenden Zellteilung erhält jede Einzelzelle je einen Macro- und einen Micronucleus. Nach DOFLEIN.

Auch bei Formen mit polytomer Vermehrung finden sich zuweilen noch Vorgänge, die durchaus an die Reifungsvorgänge der Vielzelligen erinnern. (Mikrogametenbildung von *Adelea*, Fig. 6 A), nicht selten zeigen sich aber nur darin Anklänge, daß bei der multiplen Teilung

oder Sporenbildung die beiden letzten oder der letzte, der Konjugation unmittelbar vorangehende Teilungsakt zeitlich und unter Umständen auch histologisch besonders akzentuiert ist (Allogromia, Foraminiferen, vielleicht auch *Coccidium schubergi*), während in anderen Fällen sämtliche Schritte der polytomen Vermehrung gleichmäßig zu verlaufen scheinen (*Trichosphaerium*).

Auch bei der ungeschlechtlichen Vermehrung von polytom sich teilenden Formen kann der letzte Teilungsschritt besonders akzentuiert sein, so besonders bei der Coccidie *Adelea ovata* (Fig. 6 B).

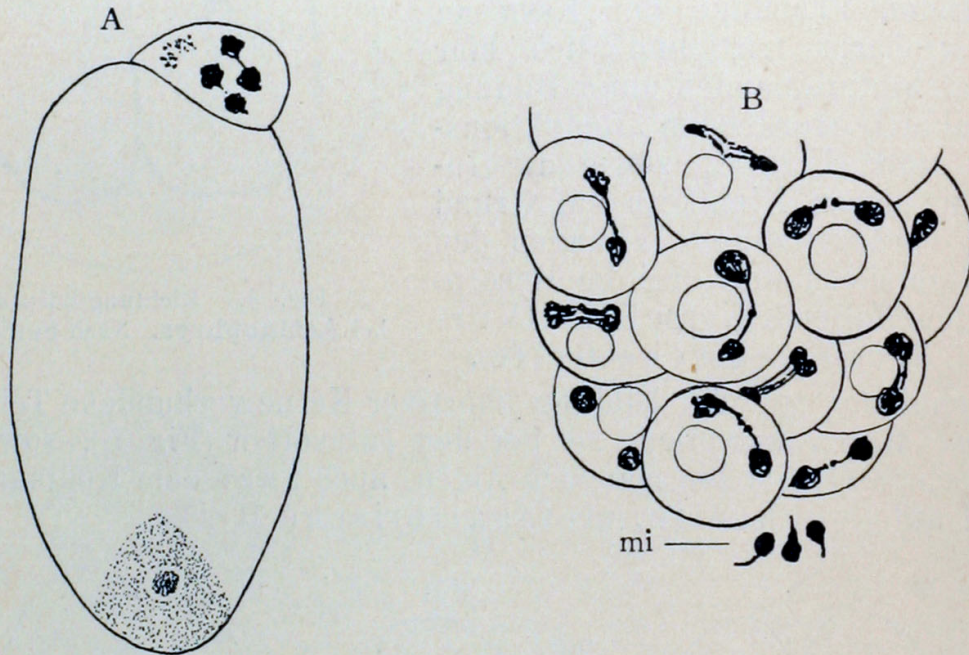


Fig. 6. A Zweiter Kernteilungsakt in dem dem Makrogameten anliegenden Mikrogametocyten. Einer der vier Kerne führt die Konjugation aus, die drei anderen sind noch eine Zeitlang an der Oberfläche des Makrogameten zu beobachten (B, *mi*) und gehen dann zugrunde. B Letzte (akzentuierte) Teilung bei der ungeschlechtlichen Vermehrung von *Adelea*. Nach SIEDLECKI.

Es finden sich also hier an der nämlichen Stelle, an welcher bei Heliozoen und Infusorien typische Reifungsteilungen mit Bildung abortiver Kerne vorkommen, in wenig oder gar nicht modifizierter Form die letzten Teilungsakte des Sporenbildungsprozesses, wie denn überhaupt bei den Protozoen die Bildung abortiver Kerne und multiple Zellteilungsprozesse an homologen Stellen füreinander eintreten können.

Beispielsweise gehen bei *Trypanosoma noctuae*, abgesehen von den auch hier vorhandenen typischen Reifungsprozessen, bei der Entwicklung der weiblichen Tiere die acht durch multiple Teilung des Kleinkerns entstandenen (je aus einem größeren und einem kleineren Kern bestehenden) „Kerngruppen“ zugrunde (Fig. 7), während in den männlichen Individuen ein typischer multipler Zellteilungs- oder Sporenbildungsprozeß stattfindet, wobei die acht den obigen entsprechenden Kerngruppen den Ausgangspunkt für die Entstehung der männlichen Gameten bilden (Fig. 8).

Nach dem Gesagten ergeben sich also sehr enge Beziehungen zwischen den Reifungsteilungen und Sporenbildungsvorgängen, und so dürfte die Ansicht wohlbegründet sein, daß wenigstens bei den Proto-

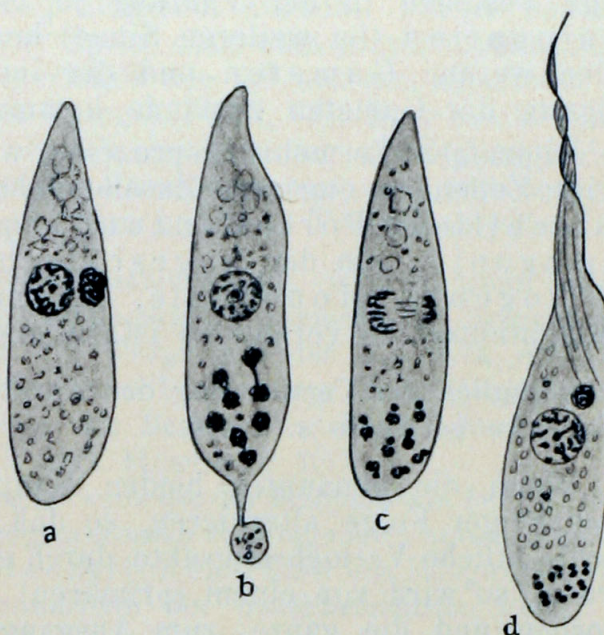
zoen die Reifungsvorgänge den Charakter von rudimentären Sporenbildungsprozessen haben.

Auch bei niedrigen Algen ergeben sich Beziehungen ähnlicher Art (OLTMANN) und auch die Ähnlichkeit, welche Reifungsvorgänge der Metazoen und höheren Pflanzen mit den Sporenbildungsprozessen der Gefäßkryptogamen zeigen, weisen auf den nämlichen Zusammenhang hin.

Wenn die bei der Reifung erfolgende Bildung rudimentärer Kerne wirklich ein Homologon der Sporenbildungsprozesse darstellt, so

Fig. 7. Entwicklung des weiblichen *Trypanosoma noctuae*.

a Stadium mit zwei Kernen. b Der kleinere Kern läßt durch Teilung 8 Kerne entstehen. c Jeder der 8 Kleinkerne produziert mittelst heteropoler Teilung einen sehr kleinen Schwesterkern: Bildung der 8 „Kerngruppen“; der große Kern läßt ebenfalls mittelst heteropoler Teilung einen kleinen Schwesterkern, den Blepharoplasten, entstehen. d Ausgebildeter Makro-gamet mit Großkern, Blepharoplast, Geißelapparat und den 8 zugrunde gehenden Kerngruppen. Nach SCHAUDINN.



würde daraus speziell für die Infusorien noch der Schluß abzuleiten sein, daß sowohl das in der Vor-, wie das in der Nachreife befindliche Individuum gewissermaßen einen rudimentären Auxontenzustand darstellt, so daß also wenigstens bezüglich dieser Phasen die Vermehrungsvorgänge der Infusorien gegenüber der polytomen Ver-

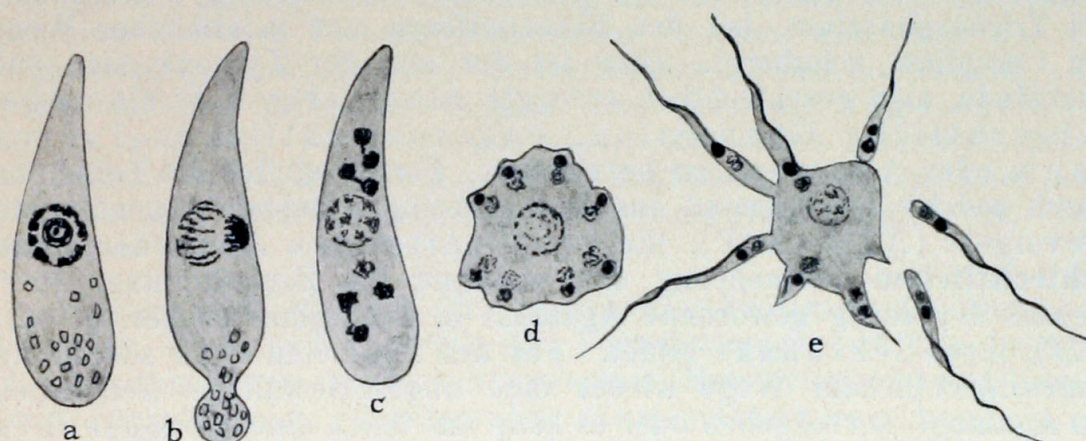


Fig. 8. Entwicklung des männlichen *Trypanosoma noctuae*. a—c Bildung der 8 „Kerngruppen“ wie im weiblichen Tier. d Periphere Anordnung der Kerngruppen. e Bildung der 8 Mikrogameten. Nach SCHAUDINN.

mehrung anderer Protozoen ein abgeleitetes Verhältnis darstellen würden. Von dieser Auffassung aus würde also der oben (S. 56) angestellte Vergleich zwischen den Auxonten und den Vielzelligen in gewisser Hinsicht auch auf die Infusorien ausgedehnt werden können.

c) Ungeschlechtliche und geschlechtliche Fortpflanzung,
Generationswechsel.

Sowohl bei rein polytomer, als auch bei gemischter und bei vorwiegend hemitomer Fortpflanzung werden die Vermehrungsvorgänge in periodischer oder auch in mehr unregelmäßiger, von den Lebensbedingungen stärker beeinflusster Weise durch Geschlechtsakte unterbrochen. Diese der Befruchtung der Vielzelligen entsprechenden Vorgänge bestehen in der Paarung je zweier Zellen und werden als Konjugation (im weiteren Sinne) bezeichnet. Die sich paarenden Zellen werden Gameten und der im Falle einer dauernden Vereinigung der Gameten zustande kommende Keim Zygote genannt.

Diejenigen Vermehrungsprozesse, welche mit der Konjugation je zweier Zellen in engerem Zusammenhang stehen, werden als geschlechtliche Fortpflanzung, Sporogonie, Amphigonie, Gamogonie, von der ungeschlechtlichen Fortpflanzung, Schizogonie, Monogonie, Agamogonie, welche nicht mit Konjugationsakten verbunden ist, unterschieden.

Bezüglich der Verwendung der Ausdrücke: Monogonie und Amphigonie bei LANG s. unten.

Wenn die genannten beiden Hauptformen der Vermehrung in regelmäßiger Folge alternieren, so daß immer ein oder mehrere ungeschlechtliche Vermehrungsakte durch einen geschlechtlichen abgelöst werden, so wird von einem (primären) Generationswechsel gesprochen und die ganze, zum Ausgangspunkt zurückkehrende Kette oder Periode von ungeschlechtlichen und geschlechtlichen Prozessen als Zeugungskreis oder Fortpflanzungszyklus bezeichnet.

Welche Phasen des Zeugungskreises der ungeschlechtlichen und welche der geschlechtlichen Vermehrung zugerechnet werden, darüber können in einzelnen Fällen Zweifel bestehen. Am klarsten liegen die Verhältnisse im Falle der rein polytomen Vermehrung, insbesondere bei *Trichosphaerium*, bei den Foraminiferen und in ähnlicher Weise bei *Coccidium schubergi*. Hier ist der aus der Zygote sich entwickelnde, also geschlechtlich erzeugte Auxont (Fig. 2, I) als ungeschlechtliche Generation, ungeschlechtliches Individuum oder Agamont zu bezeichnen. Ferner stellen die Teilungen, durch welche der Agamont aus dem einzelligen Zustande (der Zygote) hervorgeht (XIII—XIV), die vorbereitenden Akte der **ungeschlechtlichen** Vermehrung dar, während die Zerfallteilung, durch welche der fertig gewordene Agamont in die Agameten zerlegt wird (III), ihren Schlußakt bildet. Aus den Agameten kann sodann auf ungeschlechtlichem Wege wieder eine ungeschlechtliche Generation, ein Agamont, hervorgehen oder es kann aus ihnen eine Geschlechts-generation, ein geschlechtliches Individuum oder Gamont (VI) entstehen. Die zur Entwicklung dieser Gamonten und schließlich zur Bildung der Gameten selbst führenden Teilungsprozesse (IV—VII), sowie der von den Gameten vollzogene Konjugationsvorgang (IX) stellen zusammen die Reihe der **geschlechtlichen** Vermehrungsakte dar. Die Gamonten sind entweder in geschlechtlicher Hinsicht nicht differenziert (Foraminiferen, *Trichosphaerium*) oder geschlechtlich dimorph (*Coccidium*).

Bei dieser, im wesentlichen schon von SCHAUDINN und HARTMANN vertretenen Auffassung würde eine weitgehende Uebereinstimmung mit der Terminologie bestehen, wie sie bei Vielzelligen, insbesondere beim primären Generationswechsel eines Farnkrautes oder beim sekundären eines Wasserflohes oder einer Blattlaus Anwendung findet: hier wird nämlich das befruchtete Ei, genau wie bei *Trichosphaerium* die Zygote (Fig. 2, X), als das Ausgangsstadium der ungeschlechtlichen Generation betrachtet, während alle zur Bildung der Sporen bzw. parthenogenetischen Eier führenden Teilungsprozesse als ungeschlechtliche Vermehrung aufgefaßt werden. Ferner bedeutet bei den Vielzelligen das aus der Spore oder dem parthenogenetischen Ei hervorgehende Individuum, ebenso wie der aus den Agameten von *Trichosphaerium* hervorgehende Gamont (Fig. 2, VI), die geschlechtliche Generation, während die Gesamtheit der zur Bildung ihrer Fortpflanzungselemente führenden Prozesse zusammen mit dem Befruchtungsprozeß selber die geschlechtliche Vermehrung darstellt.

Diese terminologische Uebereinstimmung geht verloren, wenn bei den Protozoen für die oben als ungeschlechtliche Vermehrung (Schizogonie, Agamogonie) bezeichnete Kette von Vorgängen der Ausdruck Amphigonie und für die als geschlechtliche Vermehrung (Sporogonie, Gamogonie) zusammengefaßten Prozesse die Bezeichnung Monogonie angewandt wird (LANG 1901). Vgl. auch HARTMANN 1904.

Bei den Infusorien werden meist auch die der Konjugation folgenden, ebenfalls mit rudimentären Teilungsprozessen verbundenen Vermehrungsvorgänge (S. 57, Fig. 5) zur geschlechtlichen Phase des Zeugungskreises gerechnet. Es werden dann innerhalb der geschlechtlichen Phase die progametischen Reifungsteilungen und die metagametischen, der Befruchtung folgenden Teilungen (Nachreife) unterschieden. Auf diese Weise ist es aber schwer, die Vorgänge bei den Infusorien mit denjenigen bei *Trichosphaerium* und anderen polytomen Formen in Parallele zu bringen. Faßt man jedoch, wie dies oben geschehen ist, das in Nachreife befindliche Infusor als einen rudimentären Auxontenzustand auf, so stellt sich eine viel größere Uebereinstimmung mit den Verhältnissen bei *Trichosphaerium* und den Foraminiferen heraus, insofern man dann nur die progametischen Teilungen zur geschlechtlichen Phase zu rechnen, die metagametischen Teilungen dagegen einer ersten ungeschlechtlichen, zum Teil rudimentär gewordenen Generation zuzuweisen hätte.

Ähnliche Verschiedenheiten in der Auffassung liegen bis jetzt noch bezüglich der Coccidien (*Eimeria schubergi*) und Hämosporidien vor. Vgl. HARTMANN 1904.

Wie erwähnt, ist auch für die zwischen Protozoen und Metazoen stehenden Mesozoen, soweit ihre Fortpflanzungsgeschichte bekannt ist, ein primärer, zwischen Agamogonie (Monocytogonie) und Gamogonie (Amphigonie) alternierender Generationswechsel anzunehmen. Insbesondere gilt dies für *Volvox* und (nach HARTMANN) für die Dicyemiden und wahrscheinlich auch für die Orthonectiden.

d) Verschiedene Formen der Konjugation.

Die Konjugation kann entweder in einer dauernden und totalen Verschmelzung der beiden Gameten und ihrer Kerne (totale Konjugation, Karyoplasmogamie, Kopulation)

bestehen, in welchem Fall das Verschmelzungsprodukt meist als Zygote bezeichnet wird. Oder es ist die Verbindung nur eine vorübergehende und die Paarlinge gehen nach Austausch von Kernsubstanzen als Exkonjuganten auseinander (partielle Konjugation, reine Karyogamie, Konjugation im engeren Sinne). Dieser Fall trifft für die meisten Infusorien zu, bei welchen der Micronucleus oder Geschlechtskern jedes Paarlings nach zweimaliger vorbereitender Teilung (s. oben) auf Grund eines dritten Teilungsaktes zwei generative Kerne, den stationären Kern und den Wanderkern, liefert. Der Wanderkern jedes Paarlings tritt in den anderen Paarling über und vereinigt sich mit dessen stationärem Kern, worauf die Trennung der Gameten stattfindet.

Während bei vielen Formen die Gameten gleich groß sind (Isogameten), besteht bei anderen insofern eine größere Ähnlichkeit mit dem Befruchtungsvorgang der Vielzelligen, als die Gameten hinsichtlich ihrer Größe, Form und Beweglichkeit, Unterschiede, ähnlich denjenigen zwischen Samenzelle und Ei, zeigen (Anisogameten, Mikro- und Makrogameten; Fig. 3, B). Im ersteren Fall wird die Konjugation als Isogamie (Homogamie), im letzteren als Anisogamie (Heterogamie) bezeichnet.

Eine Besonderheit mancher Protozoen ist die Autogamie, die Wiedervereinigung zweier Schwesterzellen (Heliozoen) oder Schwesterkerne (Entamoeba) nach vollzogenen Reifungsprozessen, ein Vorgang, der sich allenfalls mit der Vereinigung von Eikern und zweitem Richtungskörper bei manchen parthenogenetischen Eiern vergleichen läßt.

B. Die Fortpflanzung durch Einzelzellen (Cytogonie) bei vielzelligen Wirbellosen. Die Amphigonie und die von ihr abgeleiteten Formen.

a) Entstehung der Geschlechtszellen (Gametogenesis).

Bei vielen Wirbellosen lassen sich die Keimzellen, wie man ganz allgemein die Ausgangselemente oder Aszendenten der befruchtungsfähigen Geschlechtszellen im Gegensatz zu den somatischen, Soma-, Körper- oder Gewebszellen nennt, von sehr frühen Stadien der Embryonalentwicklung an verfolgen. In einzelnen Fällen ist es sogar möglich, auf Grund bestimmter, entweder in den „ruhenden“ Zellen, oder bei ihrer Teilung auftretender histologischer Eigentümlichkeiten die ganze Zellenfolge festzustellen, welche von dem befruchteten Ei bis zu den ersten rein germinativen Zellen führt, d. h. denjenigen Zellen, deren Abkömmlinge nur noch aus rein propagatorischen Elementen, bzw. aus abortiv gewordenen oder einem Funktionswechsel unterworfenen Keimzellen (Nährzellen, Richtungskörpern usw.) bestehen.

Man bezeichnet jene Zellenfolge, in welcher also Schritt für Schritt die Reinigung des germinativen Materials von ekto-, ento- und mesodermalen Elementen vor sich geht, als Keimbahn schlechtweg oder besser vielleicht als somato-germinative (differentielle) Keimbahnstrecke, die Zellen dieser Folge werden Stammzellen, die ersten Generationen der rein germinativen Elemente Urgeschlechtszellen oder Urogenitalzellen genannt. Vielfach erscheint es zweckmäßig, die allererste rein germinative Zelle als Urgeschlechtsmutterzelle von ihren unmittelbaren Abkömmlingen

lingen, den Urgeschlechtszellen im engeren Sinne, zu unterscheiden. Derjenige Teilungsschritt, welcher die Urgeschlechtsmutterzelle vom somatischen Zellenmaterial abscheidet, ist beispielsweise bei *Chironomus* der 2., bei *Cecidomyia* der 3., bei den Copepoden der 4., beim Pferdespulwurm der 5. oder 6. In der Regel geht aus der Urgeschlechtsmutterzelle zunächst nur eine beschränkte Zahl von Urgeschlechtszellen (2, 4, 8) hervor. Diese treten dann in eine längere Ruheperiode ein, um erst in späteren Entwicklungsstadien, bei der Bildung der Geschlechtsdrüsen oder Gonaden, die Teilungstätigkeit wieder aufzunehmen.

Die Stammzellen der Urgeschlechtszellen können nach vier verschiedenen Richtungen hin von den übrigen Embryonalzellen unterschieden sein¹⁾:

1) Ihr Zellplasma ist durch Anhäufungen von färbbaren, in Körnchen-, Brocken- oder Wolkenform auftretenden Substanzen als ein besonderes Keimbahnplasma ausgezeichnet (Fig. 9, *n*, *a*; Fig. 10, *k*). Bei den Copepoden und bei *Chironomus* ist das Keimbahnplasma schon im ungeteilten Ei nachzuweisen, um dann eben durch die Keimbahnzellen von Zellgeneration zu Zellgeneration übermittlelt zu

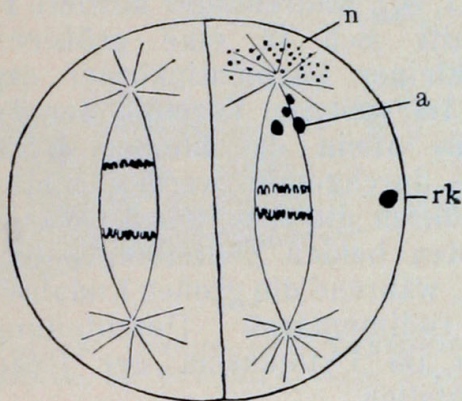


Fig. 9.

Fig. 9. Geschlechtszellendifferenzierung bei Copepoden (*Cyclops distinctus*). Uebergang vom Zwei- zum Vierzellenstadium. In der körnchenführenden Stammzelle die alten, beim ersten (*a*) und die neuen, beim zweiten Teilungsakt (*n*) gebildeten Ektosomen, sowie der eingewanderte zweite Richtungskörper (*rk*). Nach AMMA.

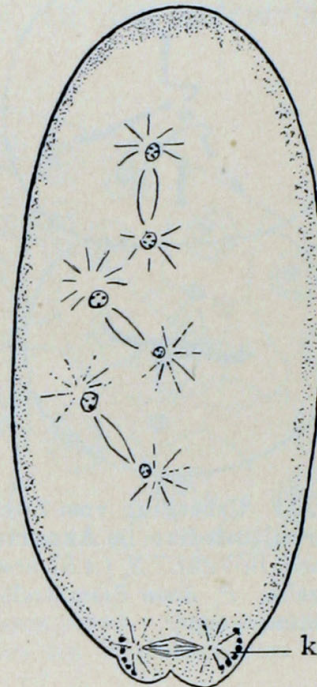


Fig. 10.

Fig. 10. Uebergang vom Vier- zum Achtzellenstadium im *Chironomus*-Ei. Am unteren Pol die sich teilende Urgeschlechtsmutterzelle mit ektosomenähnlichen Körnchen (*k*). Nach HASPER.

werden. Bei den Copepoden werden die färbbaren Substanzen (Ektosomen, Außenkörnchen) bei jedem Teilungsschritt aufs neue abgeschieden, während bei anderen Formen eine kontinuierliche Ueberlieferung der „chromophilen Substanz“ stattfindet.

2) Die Keimbahnzellen üben auf gewisse mobile Körper von offenbar mehr passiver Beschaffenheit eine größere Anziehungskraft als die übrigen Embryonalzellen aus: so bei den Copepoden auf den

1) Zusammenstellungen von anderen Gesichtspunkten aus haben KORSCHOLT und HEIDER (Lehrb., Allg. Teil) und BUCHNER (1910) gegeben.

im Ei zurückbehaltenen zweiten Richtungskörper (Fig. 9, *rk*), bei den Cladoceren auf eine Zelle unsicheren Ursprungs („Kopulationszelle“), bei parasitischen Hymenopteren auf den zurückgebliebenen Keimbläschen-Nucleolus („Metanucleolus“), bei Sagitta auf einen kompakten, stark färbbaren („nukleoliden“) Körper, der als der umgewandelte Kern einer eingewanderten Epithelzelle gedeutet wird.

3) Die Keimbahnzellen bleiben hinsichtlich ihrer Teilungsgeschwindigkeit hinter den übrigen Embryonalzellen zurück („zunehmende Phasendifferenz“ der Keimbahnzellen), so besonders deutlich bei den Copepoden (Fig. 9) und bei Sagitta.

4) Die Keimbahnzellen sind durch die Festhaltung des in der ersten Furchungsteilung auftretenden Teilungsmodus (einer Abart der sogenannten heterotypischen Mitose) gekennzeichnet, so bei

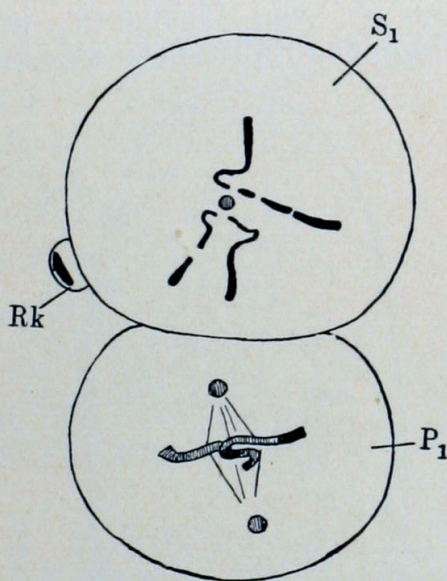


Fig. 11. Uebergang vom Zwei- zum Vierzellenstadium im *Ascaris*-Ei. Nach BOVERI. S_1 (AB) erste Ursomazelle, P_1 erste Stammzelle, *Rk* Richtungskörper.

Ascaris (Fig. 11, P_1) und bei den Copepoden. Bei ersterem (Fig. 11) sind auch die jeweiligen Schwesterzellen der Stammzellen durch Besonderheiten im Kernteilungsverlauf, und zwar durch die sogenannte *Diminution* ausgezeichnet. Dieser Vorgang besteht darin, daß in der Aequatorebene der Teilungsfigur von jedem Chromosom die verdickten Enden abgestoßen werden (Fig. 11, S_1), während der mittlere Fadenabschnitt sich in eine größere Zahl sehr kleiner Chromatinkörner segmentiert. Im weiteren Verlaufe der Teilung sind es allein die kleinen Körnchen, welche durchgeteilt werden und deren Spalthälften die dizentrische Wanderung nach den beiden Zellteilungspolen ausführen, während die großen Endabschnitte nach rudimentären Durchteilungsversuchen im Cytoplasma der Reduktion anheimfallen.

Die Bildung der zunächst geschlechtlich indifferent erscheinenden Geschlechtsdrüsen oder Gonaden erfolgt, indem die Urgeschlechtszellen, die meist in zwei symmetrisch gelegenen Gruppen angeordnet und von einem Belag von Mesenchymzellen umhüllt sind, ihre Vermehrungstätigkeit wieder aufnehmen. Sie liefern die indifferenten Geschlechtszellen (Geschlechtszellen oder Gonocyten im engeren Sinne nach WALDEYER), während durch Teilung der Belagzellen, vielleicht auch durch weitere Zuwanderung die Hüllen der Geschlechtsdrüsen (bei den Copepoden auch die Anfangsteile der Ausführungswege) ihre Entstehung nehmen. In einer bestimmten Periode, bei den Copepoden z. B. gleichzeitig mit der Ausbildung der sekundären Geschlechtscharaktere, entwickelt sich sodann aus der indifferenten Gonade ein Hoden (Testis) oder ein Eierstock (Ovarium), während aus den Geschlechtszellen die Ursamenzellen oder Spermatogonien, bzw. die Ureizellen oder Oogonien (Oogonien) entstehen. Damit beginnt die Samenbildung (Spermatogenese, Spermiogenese) und Eibildung (Oogenese, Oogenese), und zwar ist in beiden Fällen zunächst eine

Teilungs- oder Vermehrungsperiode zu unterscheiden, während welcher die Spermatogonien und Ovogonien einer mehr oder weniger lebhaften Vermehrung unterliegen. Namentlich in schlauchförmigen Geschlechtsdrüsen hebt sich eine bestimmte Zone, die Keimzone, ab, welche mit den aufeinanderfolgenden Generationen der Ursamen- oder Ureizellen angefüllt ist (Fig. 12, *kz*) und nicht selten einen syncytialen Charakter besitzt (Insekten, Copepoden).

In der folgenden Wachstumsperiode bzw. Wachstumszone (Fig. 12, rechts von *wz*) tritt zunächst wieder ein Stillstand in der Vermehrungstätigkeit ein, wogegen namentlich im weiblichen Geschlecht die aus der letzten ovogonialen Teilung hervorgegangenen Eimutterzellen oder Ovocyten 1. Ordnung (Oocyten 1. O., unreife Eier, Eierstockseier) noch im Ovarium oder erst im Ovidukt eine intensive vegetative Tätigkeit entwickeln, die zur Abscheidung von Reservestoffen in Gestalt von Dottermaterial und zu einer beträchtlichen Größenzunahme führt (Fig. 12, *Ooc*). In den entsprechenden

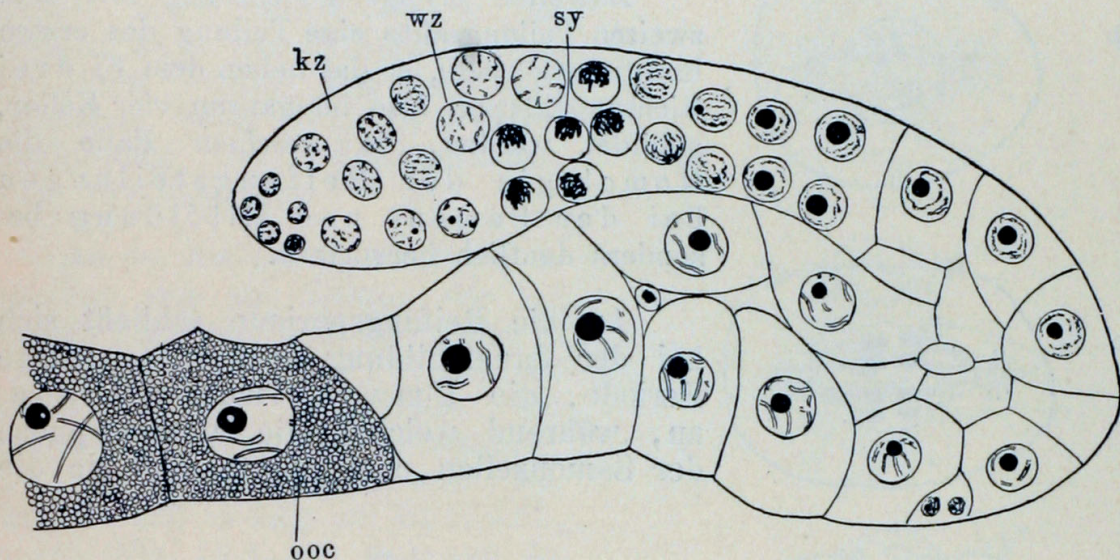


Fig. 12. Ovarium eines **Copepoden (Canthocamptus)**. Etwas schematisiert. *kz* Keimzone, *ooc* Ovocyten 1. O., *sy* Synapsis, *wz* Beginn der Wachstumszone.

Zellen des männlichen Geschlechts, den Samenmutterzellen oder Spermatocyten 1. Ordnung, tritt dieses Wachstum weniger hervor und nur in selteneren Fällen kommt es zu einer Dotterbildung (Ascaris).

Es folgt die Reifungsperiode bzw. Reifungszone. Im männlichen Geschlecht, welches auch hier die einfacheren Verhältnisse zeigt, verwandeln sich die Samenmutterzellen (Fig. 13 a—b) auf Grund zweier rasch aufeinander folgender Teilungsakte, der Reifungsteilungen, in zwei Samentochterzellen oder Spermatocyten 2. Ordnung (Fig. 13 c—d) und schließlich in vier Samenzellen oder Spermatiden (Fig. 13 e). Im weiblichen Geschlecht bildet sich der Kern der Eimutterzellen, das Keimbläschen (Fig. 15 a), vielfach noch im Zentrum des Eies, in eine Teilungsfigur, die erste Richtungsspindel, um. Diese Figur, welche bald die typische Spindelform mit deutlichen, mitunter mächtig entwickelten Centrosomen aufweist (Thysanozoon, Fig. 14), bald mit ihrer Tonnen- oder Garbenform und hinsichtlich der Abwesenheit distinkter Centrosomen an die Teilungsbilder mancher Protozoen erinnert (Copepoden,

Fig. 15 b; *Ascaris*), zeigt die Chromosomen im Stadium der Metaphase (Beginn des dizentrischen Auseinanderweichens) und verharret gewöhnlich in diesem Zustand, bis die in das Ei eindringende Samenzelle den Anstoß zum weiteren Ablauf der Teilung gibt. Nachdem in allen Fällen die Spindel an der Eiperipherie eine radiäre Stellung eingenommen hat, erfolgt eine unsymmetrische Zellteilung, welche zur Bildung einer großen Eitochterzelle (Ovocyte 2. Ordnung) und einer kleinen rudimentären Zelle, des „ersten Richtungskörpers“, führt (Fig. 15 c, *rk'*). Unmittelbar darauf wiederholt sich der gleiche Prozeß und es kommt zur Bildung der reifen Eizelle und des zweiten Richtungskörpers (Fig. 15 d; 15 e, *rk''*).

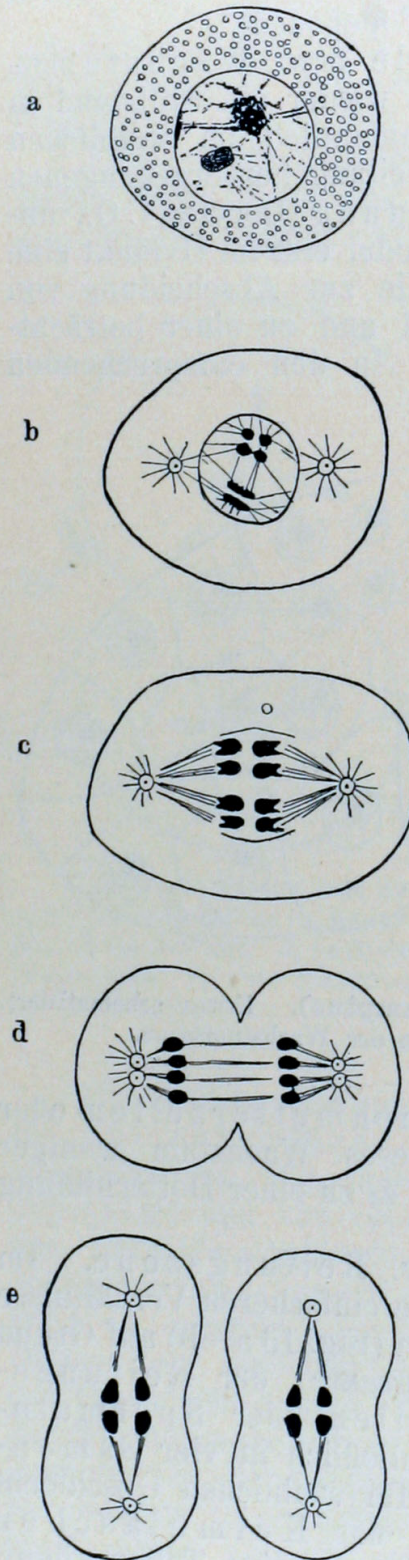


Fig. 13.

Fig. 13. Spermatidenbildung bei **Ascaris**. Nach BRAUER. a Spermatogonie, b Spermatocyte 1. O., c—d erste, e zweite Reifungsteilung.

Fig. 14. Erste Richtungsspindel einer **Seeplanarie (Thysanozoon)** mit mächtigen Centrosomen. Nach VAN DER STRICHT. *spz* das eingedrungene Spermatozoon.

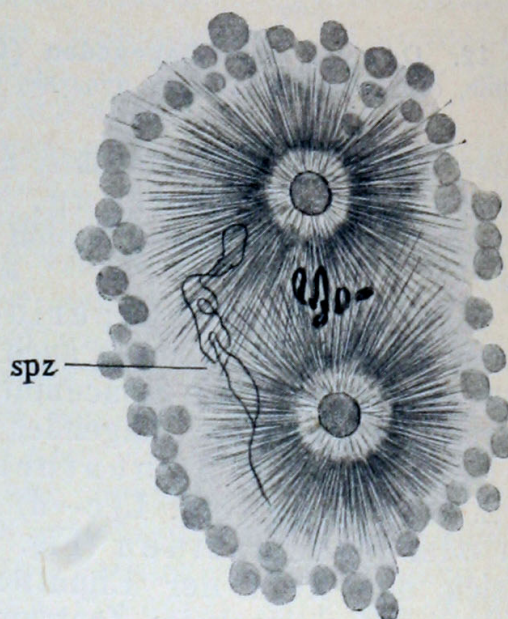


Fig. 14.

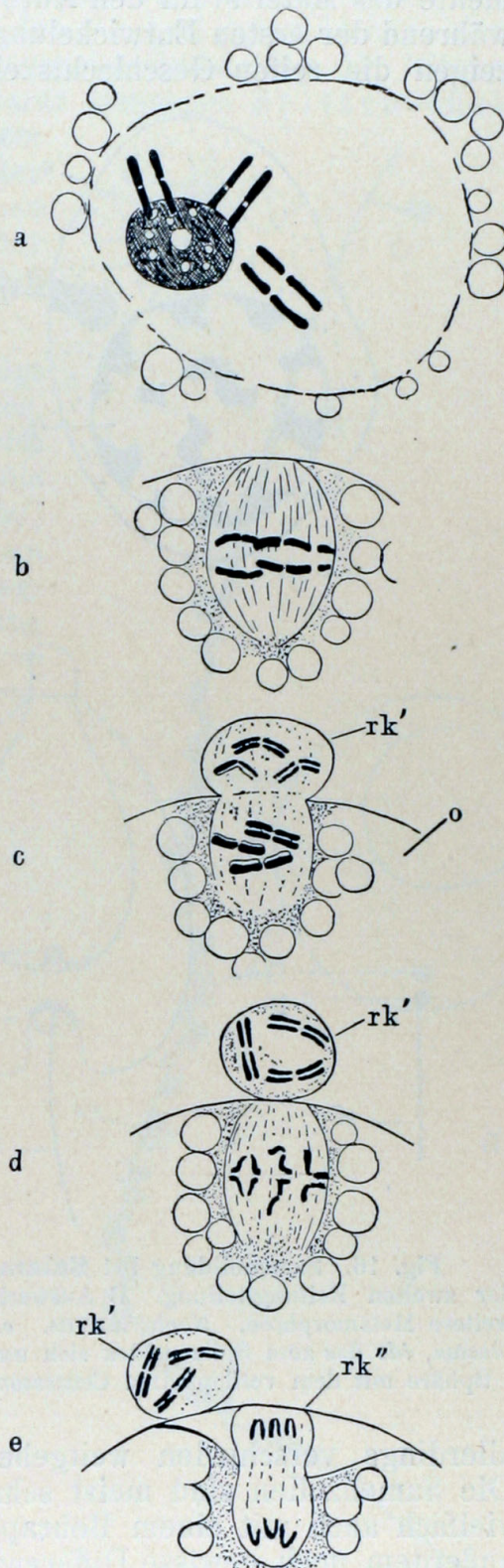
Zuweilen erfolgt gleichzeitig mit dem zweiten Teilungsakte eine Teilung des ersten Richtungskörpers, so daß neben dem Ei drei Richtungskörper, also im ganzen vier Zellen, gebildet werden, in welchem Falle die Homologie der Reifungsteilungen bei der Samen- und Eibildung besonders deutlich hervortritt.

An die Reifungsperiode schließt sich bei der Samenbildung noch eine weitere Periode, die Umwandlungsperiode, an, während welcher die Metamorphose der Samenzellen oder Spermatiden in die

befruchtungsfähigen Spermatozoen, Spermien oder Samenfäden stattfindet. Speziell bei den typischen flagellatenähnlichen Spermatozoenformen, den Samenfäden im engeren Sinne, werden folgende Erscheinungen beobachtet: die Verdoppelung des Centrosoma (Fig. 16 A, *s*) und die Verlagerung seiner Hälften an die Zellenwand (Fig. 16 B, *c.a.*, *c.p.*); Bildung des Mittelstücks oder Spermienhalses unter Beteiligung des inneren oder vorderen Centrosoma (Fig. 16 B—D, *c.a.*); Auswachsen des Schwanzfadens vom äußeren oder hinteren Centrosoma aus (Fig. 16 B, *sf*); Streckung und Verdichtung des Kerns, sowie Zurückbildung des größten Teils des Cytoplasmas bis auf einen dünnen, den Kern umgebenden Belag (Fig. 16 D, *cy*); Ausbildung des Spitzenstückes (Fig. 16 C—E, *idx*).

An der Ausbildung des letzteren beteiligt sich ein Körper, der bei einigen Objekten von der Sphäre oder dem Idiozom, d. h. der körnigen, das Centrosoma der Spermatide umgebenden Plasmahülle (Fig. 16 A, *s*) abstammen soll. Bei anderen soll es sich um Spindelreste (Fig. 16 A, *sp*), d. h. um die fädigen Substanzen, die nach Ablauf der zweiten Reifungsteilung als Reste der achromatischen Teilungsfigur in den Spermatiden zurückbleiben, handeln.

Fig. 15. Richtungskörperbildung bei **Cyclops gracilis**. Nach MATSCHECK (e nach Bildern bei **C. viridis**). a Keimbläschen vor der Auflösung. b Erste „Richtungsspindel“. c Erste Reifungsteilung: o Ovocyte 2. O., *rk'* erster Richtungskörper. d zweite „Richtungsspindel“. e Zweite Reifungsteilung: *rk'* zweiter Richtungskörper.



b) Reife Geschlechtszellen.

Die reifen Samenzellen und Eier der Metazoen haben, abgesehen von ihren gemeinsamen, augenscheinlich mit der Arterhaltung und Artbildung zusammenhängenden Aufgaben, noch besondere Funktionen: Die männlichen Zellen haben das Ei aufzusuchen, in sein Inneres ein-

zudringen und den Kern zur Teilung anzuregen, dagegen haben die beim Befruchtungsakt mehr passiv sich verhaltenden weiblichen Elemente das Material für den Aufbau des Embryos ganz oder wenigstens während der ersten Entwicklungsstadien zu liefern. Dementsprechend zeigen die reifen Geschlechtszellen eine, bei den einzelnen Formen

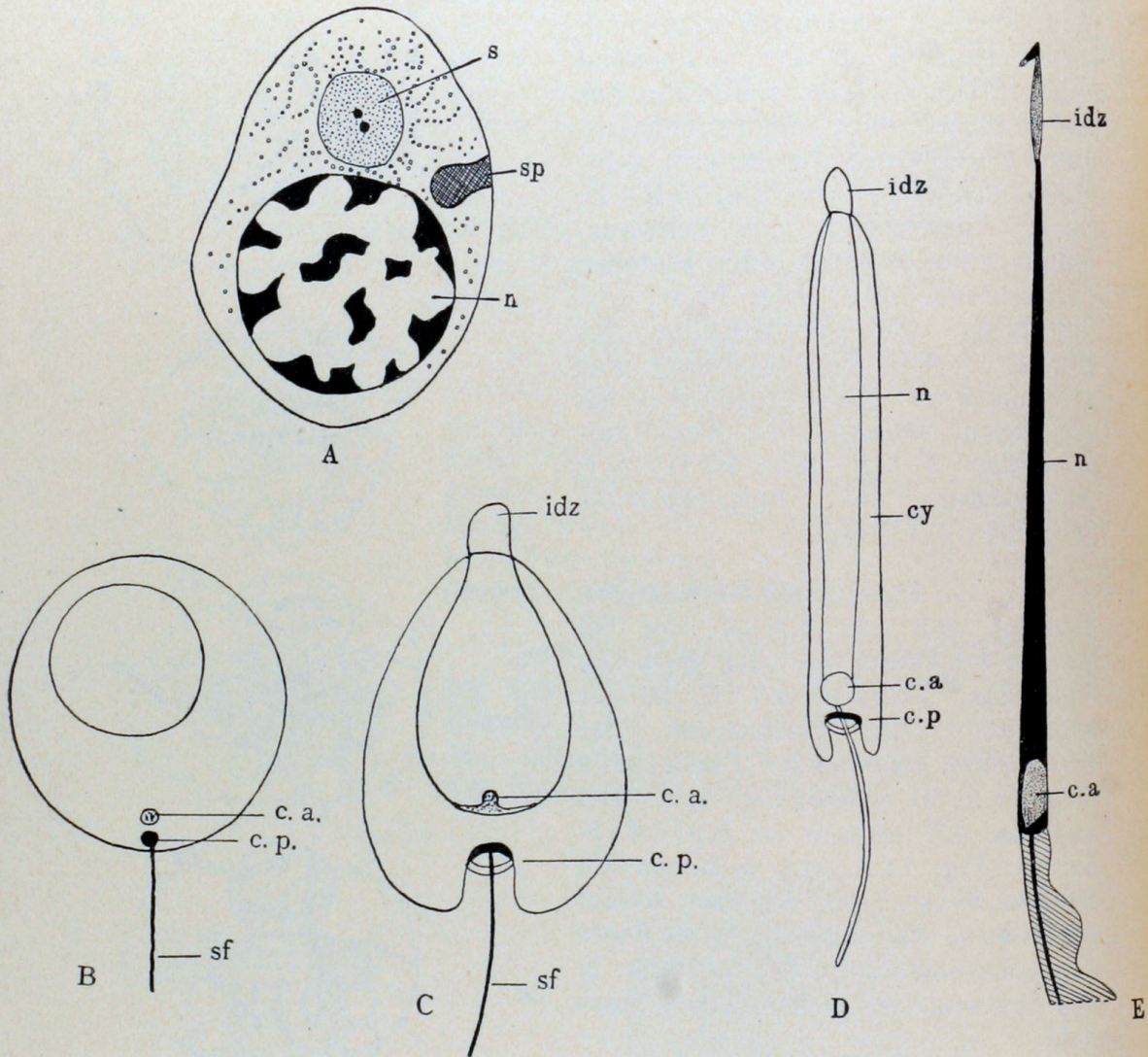


Fig. 16. Samenbildung bei **Salamandra maculosa**. A Spermatide nach Ablauf der zweiten Reifungsteilung. B Auswachsen des Schwanzfadens. C—E Streckung und weitere Metamorphose. Nach MEVES. c.a. vorderes, c.p. hinteres Centrosom, cy Cytoplasma, idz das zum Spitzenstück sich umwandelnde Idiozom (Sphäre), n Kern (Nucleus), s Sphäre mit dem verdoppelten Centrosom, sf Schwanzfaden, sp Spindelrest.

allerdings verschieden weitgehende morphologische Differenzierung. Die Samenzellen sind meist sehr kleine, mit einem Bewegungs- und vielfach auch mit einem Bohrrapparat ausgestattete Elemente, welche außerdem noch gewisse Differenzierungen mit sich führen, von denen aus der Teilungsmechanismus des befruchteten Keimes in Gang gesetzt wird. Die Eier dagegen sind große, unbewegliche Zellen — vielfach, wie bei den Vögeln, von ungeheuren Dimensionen —, die mehr oder weniger reichlich mit Nährmaterial (Dotterelementen) ausgestattet sind und verschiedenartige, teils der Ernährung, teils dem Schutze (gegen Austrocknung, Insolation, Parasiten usw.) dienende Hüllen besitzen.

Zu den am einfachsten gebauten Spermatozoen gehören die rhizopodenähnlichen der Cladoceren und die rundlichen oder kegelförmigen, amöboid beweglichen Elemente der Nematoden. Die wohl am häufigsten vorkommende Form ist jedoch die des flagellatenähnlichen Spermiums, des Samenfadens im engeren Sinne (Fig. 17, 18), an welchem in der Regel ein als Bohrrapparat dienendes Spitzenstück (Perforatorium, *sp*), der Kopf mit dem Kern (*k*), das Mittelstück oder der Halsteil (*m*) mit einem einfachen oder doppelten Centrosoma und der Schwanzfaden zu unterscheiden sind.

Bei den Urodelen (Fig. 18) zeigt letzterer noch besondere Differenzierungen, indem sich aus einer Längsrinne des Achsen- oder Hauptfadens (*hf*) die von einem kontraktilen Randfaden (*rf*) eingesäumte undulierende Membran (*u.m*) erhebt. Die über die Membran weglaufenden, durch die Zusammenziehung des Randfadens vermittelten Kontraktionswellen dürften den eigentlichen vorwärtstreibenden Faktor darstellen.

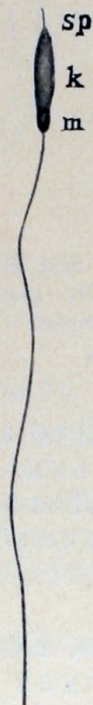


Fig. 17.

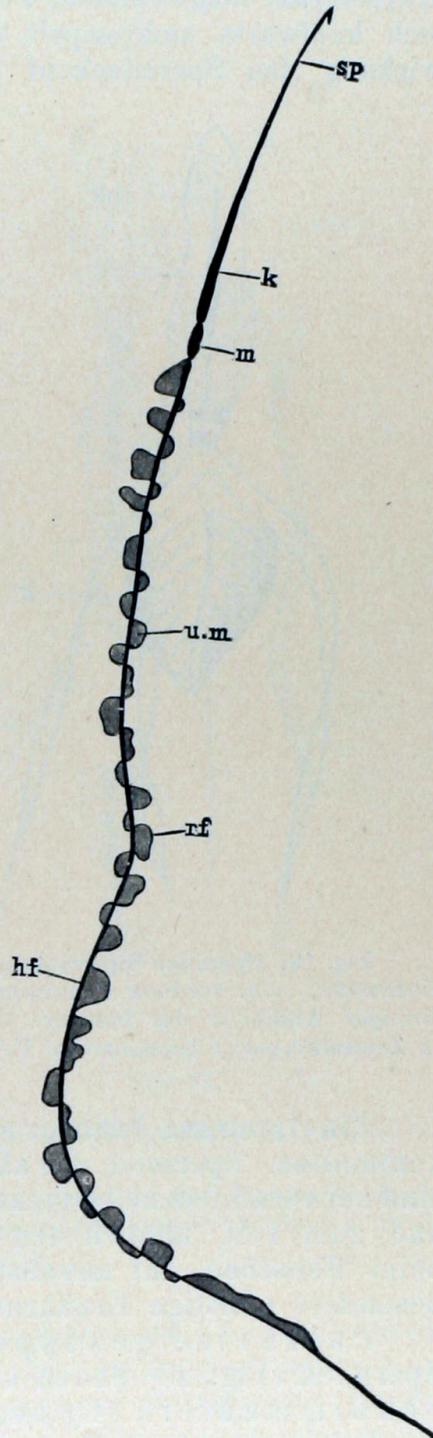


Fig. 18.

Fig. 17. Spermium einer **Meduse** (*Aurelia aurita*). Nach BALLOWITZ. *sp* Spitzenstück, *k* Kopf, *m* Mittelstück.

Fig. 18. Spermium des **Wassersalamanders** (*Molge marmorata*). Nach BALLOWITZ. *hf* Hauptfaden, *k* Kopf, *m* Mittelstück, *rf* Randfaden, *sp* Spitzenstück, *u.m.* undulierende Membran.

Die am kompliziertesten gebauten Spermien sind wohl die Spermiosomen der dekapoden Krebse (Fig. 19). Von dem Mittelstück (A, *c.a. + c.p.*) erheben sich kopfwärts drei radiär angeordnete, borstenartige Fortsätze (*f*), welche einen federnden Dreifuß darstellen, mittelst dessen das Spermium der Eioberfläche aufsitzt. Der Schwanzfaden ist zu einer chitinigen, mit einem „Explosionsstoff“ angefüllten Kapsel (*chk*) umgewandelt, welche beim Eindringen von Wasser aufquillt, sich kopfwärts umkrempelt (B, *chk*) und dabei auf Grund einer Stoßwirkung den Spermienkopf in das Ei hineintreibt; dabei dürfte ein stäbchenförmiger, bei der Explosion freiwerdender Zentralkörper (*ck*) die Bedeutung eines Richtapparates haben.

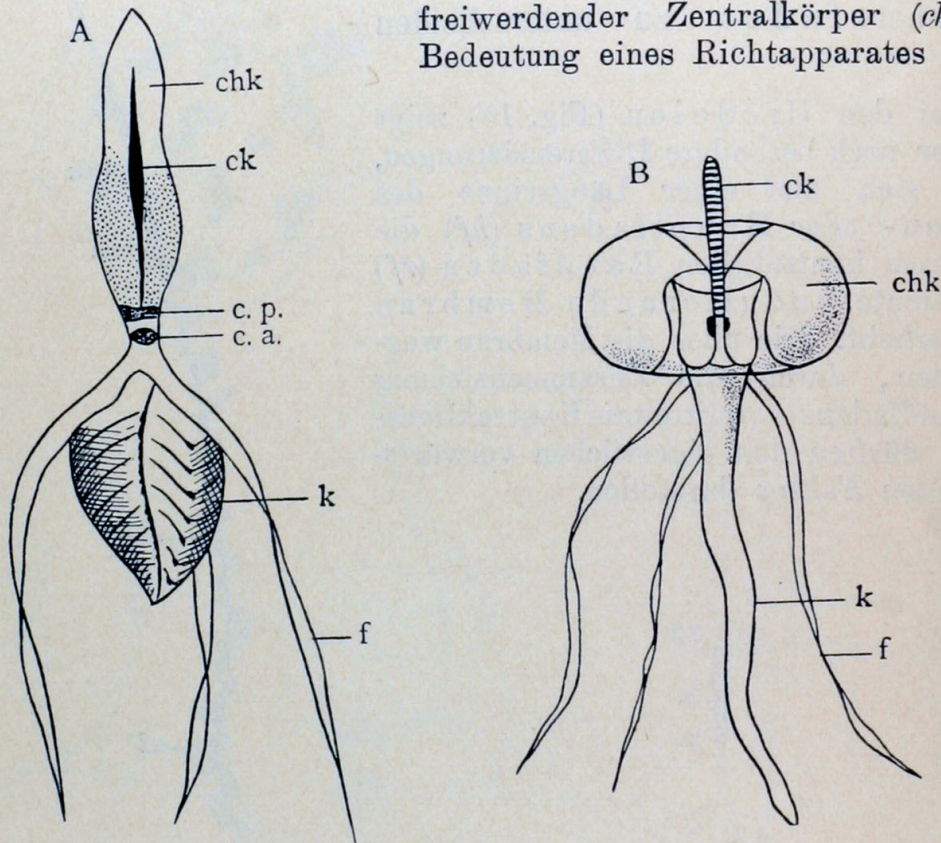


Fig. 19. Spermien (Spermiosomen) von **Galathea** (A) und **Eupagurus** (B). Nach KOLTZOFF. *c.a.* vorderes Centrosom, *c.p.* hinteres Centrosom (genauer: vorderer ringförmiger Abschnitt des hinteren Centrosoms), *chk* Chitinkapsel (in B umgekrempelt), *ck* Zentralkörper, *f* borstenartige Fortsätze (Dreifuß), *k* Kopf.

Ein Interesse beanspruchen noch verschiedene atypische Vorkommnisse. Spermien von abnormer Größe (Riesenspermatozoen) sind bei verschiedenen Objekten neben normal großen beobachtet worden und zum Teil, ähnlich den zweikernigen und zweiköpfigen Spermien beim Menschen, auf unvollständige Zellteilungsprozesse, zum Teil auf besonders günstige Ernährung zurückzuführen.

Paarweise gekoppelte, d. h. mit den Köpfen verbundene Spermien (Fig. 20) finden sich als regelmäßiges Vorkommnis bei Schwimmkäfern (*Dytiscus* u. a.). Für diese wird angegeben, daß die Paarung erst nach der Metamorphose erfolgt.

Bei Gastropoden (Prosobranchiern, Fig. 21) und Schmetterlingen (Spinnern) kommt ein regelmäßiger Dimorphismus der Spermien vor. Bei ersteren finden sich haarförmige, normalkernige (eupyrene, Fig. 21 B) und wurmförmige mit diminuiertem Kern (oligopyrene, Fig. 21 A, C), welche mit ihrem endständigen Haarbüschel an die

Spermatozoiden der Gefäßkryptogamen erinnern. Bei den Spinnern treten größere kernhaltige und kleinere kernlose (apyrene) Spermien auf. Bei *Paludina* gelangen auch die wurmförmigen Spermien in die weiblichen Organe, bei einem anderen Prosobranchier (*Aporrhais pes pelicani*) dringen sie in das Ei ein, um nach erfolgter Degeneration wieder ausgestoßen zu werden.

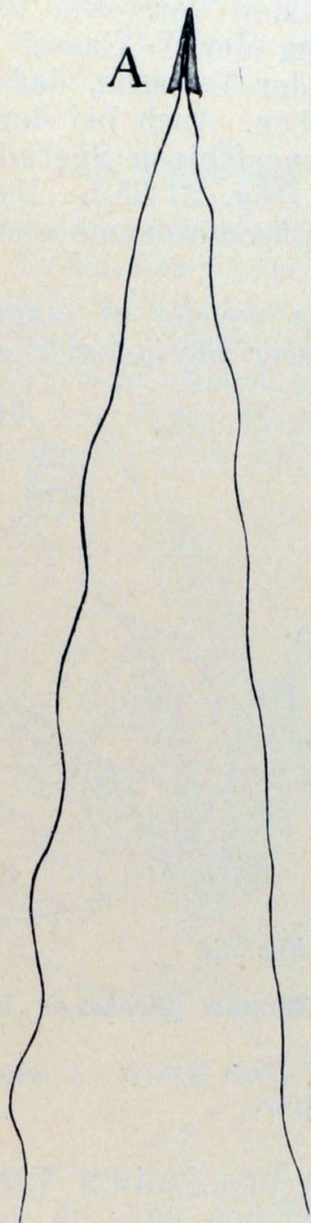


Fig. 20.

Fig. 20. Doppelspermium eines **Schwimmkäfers** (*Colymbetes*). Nach BALLOWITZ.

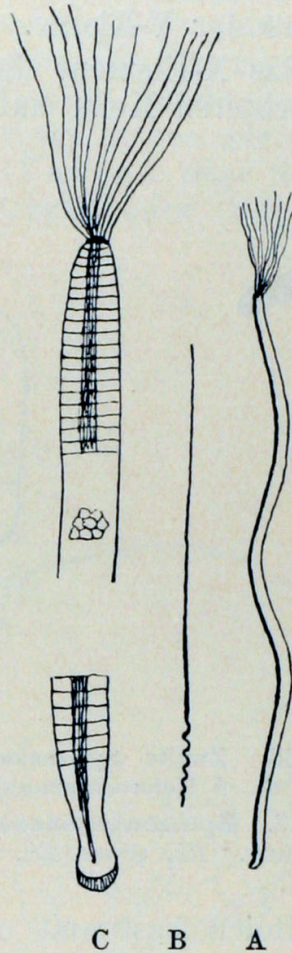


Fig. 21.

Fig. 21. A „wurmförmiges“, B gewöhnliches, „haarförmiges“ Spermatozoon von ***Paludina vivipara***, C die beiden Enden des ersteren stärker vergrößert. Nach v. BRUNN und v. ERLANGER aus KORSCHOLT und HEIDER.

Ein Dimorphismus der Spermien bezüglich ihres Chromosomenbestandes ist namentlich bei Hemipteren beobachtet worden und steht hier zur Geschlechtsbestimmung in Beziehung. Im einfachsten Fall wird ein besonders beschaffenes Chromosom, das X-Element (Heterochromosom, Monosom, akzessorisches Chromosom, Geschlechtschromosom) bei der zweiten Reifungsteilung je nur der einen Tochterzelle zugewiesen (Fig. 22). Von den Spermien erhält also die Hälfte (die X-Klasse) ein X-Element, die andere Hälfte (die Y-Klasse) kein solches, während die Eier sämtlich ein X-Element enthalten.

Aus der Befruchtung durch Spermien der ersteren Art gehen weibliche, anderenfalls männliche Individuen hervor.

Ähnliche Verhältnisse liegen bei anderen Arthropoden (Orthopteren, Coleopteren u. a.) und bei Nematoden vor. Bei Rebläusen und Blattläusen degenerieren die Spermien der Y-Klasse, also die männlichbestimmenden, im Einklang mit der Tatsache, daß aus den befruchteten Eiern nur Weibchen hervorgehen. Auch bei den Bienen und Wespen werden neben den befruchtungsfähigen Spermien rudimentäre, richtungskörperähnliche gebildet (Fig. 23 Rk_1). Vermutlich entsprechen die ersteren hinsichtlich ihres Chromosomenbestandes der X-, letztere der Y-Klasse.

Ob das X-Element die Samenzelle, in welche es eingeht, und den befruchteten Keim auf Grund besonderer physiologischer Quali-

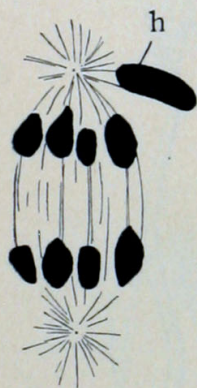


Fig. 22.

Fig. 22. Zweite Spermatocytenteilung einer Wanze (*Protenor belfragei*). Nach WILSON. *h* Heterochromosom.

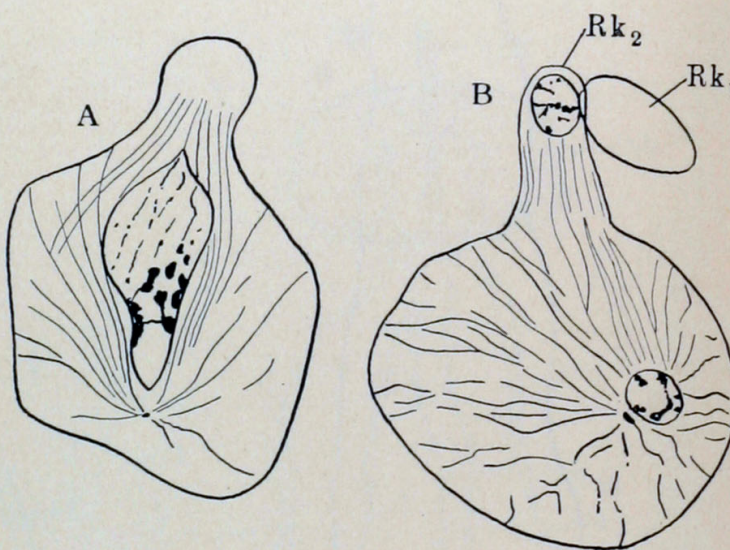


Fig. 23.

Fig. 23. Spermatogenese der Honigbiene. Nach MEVES. A erste, B zweite Reifungsteilung. Rk_1 erster, Rk_2 zweiter Richtungkörper.

täten weiblich bestimmt oder ob nur die quantitativen Verhältnisse der Chromosomensubstanz in Betracht kommen oder ob schließlich das X-Element nur einen Index für die durch andere Faktoren bereits vollzogene Geschlechtsbestimmung darstellt, darüber besteht noch keine Uebereinstimmung.

Die Besonderheiten, welche das reife Ei gegenüber den gewöhnlichen Zelltypen zeigt, beziehen sich vor allem auf die Größe und auf den Besitz von Hüllen verschiedener Art, welche teils der Ernährung, teils dem Schutz des Embryos dienen. Speziell bei den Vögeln erreicht die eigentliche Eizelle, das „Gelbei“ oder der „Eidotter“ außerordentliche, bei anderen Zellen nicht vorkommende Dimensionen: so ist das Gelbei des amerikanischen Straußes (*Rhea americana*) 9,2 cm lang, 6,7 cm breit und besitzt ein Volumen von über 200 ccm. Als Hüllen kommen außer der Zellmembran oder primären Eihülle (Dotterhaut der Echinodermen) sekundäre und tertiäre in Betracht. Die sekundären werden innerhalb des Ovariums von einem besonderen Follikelepithel abgeschieden (Chorion der Insekten), die tertiären stellen Sekrete der Eileiter oder besonderer

Drüsen dar (Kokons der Lumbriciden und Hirudineen, zahlreiche Bildungen bei Wirbeltieren).

Sowohl in den primären wie in den sekundären Hüllen können besondere Einlaßporten für die Spermien, die Mikropylen, ausgebildet sein. Beispiele sind die Eier einerseits der Mollusken, andererseits der Insekten.

c) Begattung (Kopulation) und Besamung.

Die reifen Geschlechtszellen werden durch den Akt der Begattung (Kopulation) oder Besamung einander passiv genähert. Bei der direkten inneren Begattung werden die Spermien mittelst des männlichen Kopulationsorgans, des Penis, unmittelbar in die weiblichen Geschlechtswege, und zwar meistens in besondere, für die Aufnahme des Penis eingerichtete Teile (Vagina oder Scheide, Bursa copulatrix der Insekten) übertragen oder (bei einzelnen

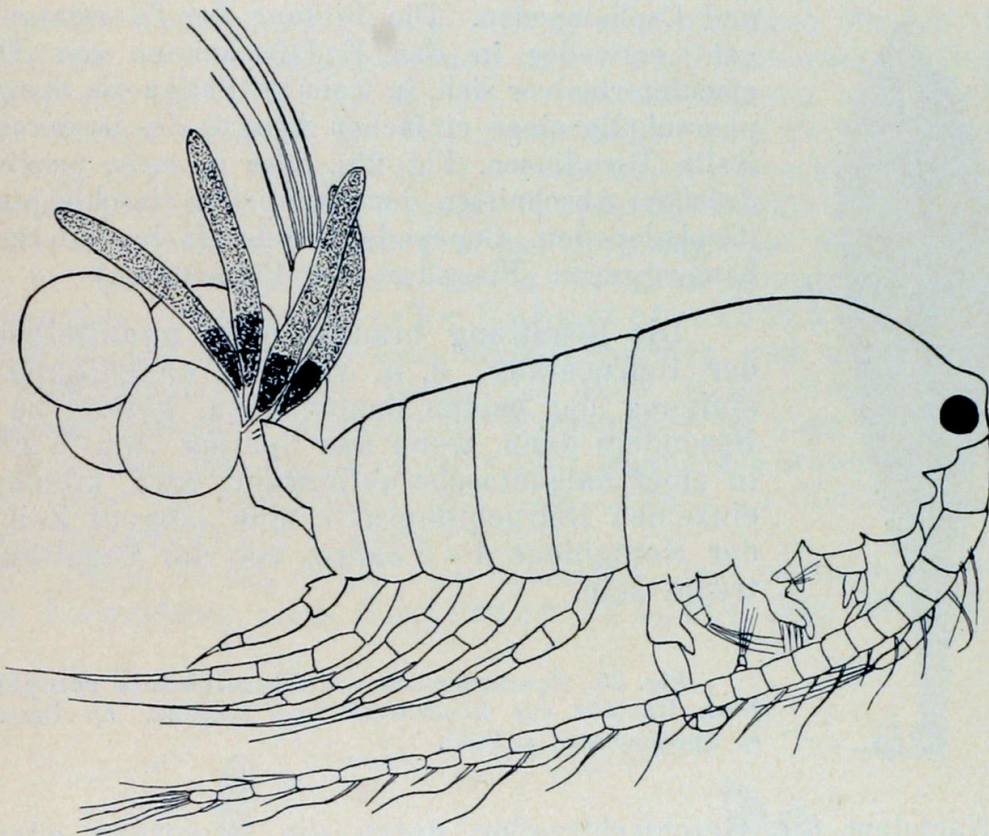
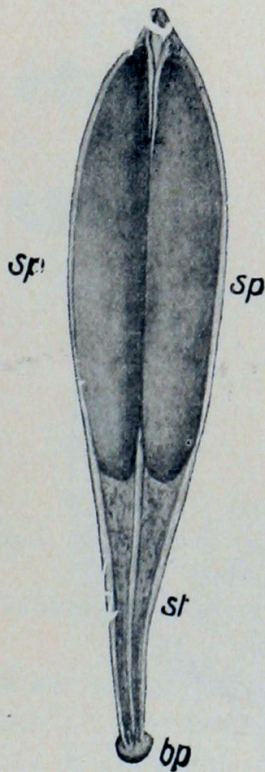


Fig. 24. **Copepode (*Diaptomus laciniatus*)** mit 4 Spermatophoren, welche der Basis des Eisackes aufsitzen. (Das Abdomen ist infolge der Konservierung aufwärts gebogen.)

Polycladen und bei Rotatorien) durch Einstechen des Penis in die Haut in den weiblichen Körper eingeführt. Die Spermien werden in ersterem Fall entweder innerhalb der eiweißartigen Samenflüssigkeit (Liquor seminis) entleert oder sie sind zum Zweck der Uebertragung zu paketartigen, von einer chitinen oder gallertigen Hülle umgebenen Komplexen, den Samenpatronen oder Spermatophoren, vereinigt. Bei der indirekten inneren Begattung werden die männlichen Elemente auf eine mehr mittelbare Weise übertragen. Sie sind dabei stets in Spermatophoren (Fig. 24, 25)

vereinigt, und zwar werden letztere entweder während der Kopulation dem Weibchen angeheftet, worauf die Samenzellen nachträglich in die weibliche Samentasche (Receptaculum seminis) überführt werden (Copepoden, Fig. 24) oder direkt durch die Haut in die Nähe der Eizellen gelangen (manche Polycladen, Rüsselegel, Nephelis), oder sie werden mittelst besonderer Apparate sekundärer Art (modifizierter Kiebertaster der männlichen Spinnen, Hectocotylus der Cephalopoden) auf das Weibchen übertragen. Bei der äußeren Begattung werden die Fortpflanzungselemente in der Weise vereinigt, daß sie während der Umklammerung des Weibchens durch das Männchen von beiden Geschlechtern gleichzeitig entleert werden (Batrachier), während bei der freien Besamung die Abgabe und Vereinigung der Geschlechtszellen ohne Berührung der Elterntiere erfolgt (Medusen, Echinodermen).

Sehr kompliziert gebaute, mit einem besonderen Austreibeapparat versehene Spermatophoren finden sich bei Peripatus, bei den Copepoden und Cephalopoden. Die Bildung der Spermatophoren geht entweder in den Endabschnitten des Ductus ejaculatorius vor sich, in welchen Fällen die Spermatophorenhülle einen einfachen Ausguß des letzteren darstellt (Hirudineen, Fig. 25), oder in mehr proximalen drüsigen Abschnitten der männlichen Geschlechtswege (Cephalopoden, Copepoden), oder in besonderen Anhangsorganen (Flagellum der Pulmonaten).



Die Begattung braucht nicht unmittelbar von der Befruchtung, d. h. von der endgültigen Vereinigung der beiden Samenzellen, gefolgt zu sein. Besonders dann, wenn das Sperma vom Weibchen in einer Samentasche aufbewahrt wird, können die einzelnen Befruchtungsakte eine längere Zeit, bei der Honigbiene 4–5 Jahre, von der Begattung getrennt sein.

Fig. 25. Spermatophore von **Glossiphonia complanata**. Nach BRUMPT aus KORSCHULT und HEIDER. *bp* Basalplatte, *sp* Spermatomasse, *st* Stiel.

Nachdem die Geschlechtszellen durch die Begattung oder Besamung einander passiv genähert sind, wird ihre endgültige Verbindung durch das aktive Bewegungsvermögen der Samenzellen hergestellt. Dabei spielen chemotropische, vom Ei oder weiblichen Geschlechtsapparat ausgehende Reizwirkungen eine richtende Rolle.

Diese Reizwirkungen sind spezifischer Art und machen zusammen mit der gegenseitigen morphologischen Anpassung von Ei und Samenzelle und mit der zwischen den beiden Geschlechtskernen wirksamen, zum Teil wohl ebenfalls auf Chemotropismus beruhenden Attraktion, die sexuelle Affinität aus, d. h. die Gesamtheit der Wechselwirkungen, durch welche die endgültige Annäherung und Verbindung artgleicher oder wenigstens artähnlicher Geschlechtszellen veranlaßt wird.

Mangelnde sexuelle Affinität verhindert die erfolgreiche Paarung zwischen Angehörigen verschiedener Arten, wofern eine solche Paarung nicht schon durch Begattungshindernisse mechanischer Art (sehr verschiedene Größe der Tiere, mangelnde Harmonie der Kopulationsorgane) oder durch instinktive, vielfach wohl durch den Geruchssinn vermittelte Abneigung verhindert wird.

d) Befruchtung.

Der Befruchtungsprozeß selbst nimmt bei den vielzelligen Tieren seinen Anfang mit dem Eindringen einer oder mehrerer Samenzellen in das Ei und schließt ab mit der Kernkopulation, d. h. mit der Vereinigung von Spermakern und Eikern.

In der Regel ist das Ei so eingerichtet, daß es sich ohne Befruchtung nicht weiter zu entwickeln vermag. Die Hemmung der Teilungsfähigkeit kommt meist schon in dem unvollständigen Ablauf der Reifungsteilungen äußerlich zum Vorschein, wenigstens gelangt in sehr vielen Fällen das Ei nur bis zu den mittleren Phasen (Metaphasen) der ersten Reifungsteilung und wartet in diesem Stadium auf die Befruchtung (Fig. 14 u. 27). Das Eindringen der Spermien bringt sodann zunächst die Reifungsteilungen zum vollständigen Ablauf (Fig. 15c—e), worauf die Vereinigung der Geschlechtskerne erfolgt und die eigentliche Eiteilung (Furchung) beginnt.

Bei den meisten Metazoen dringt normalerweise nur eine Samenzelle in das Ei ein (Monospermie). Das Eindringen mehrerer Samenzellen (pathologische Ueberbefruchtung oder Polyspermie) hat dann meistens einen abnormen und unvollständigen Entwicklungsverlauf zur Folge. In einer Reihe von Tiergruppen (Insekten, Spinnen, verschiedene Wirbeltiere) ist aber Mehrbefruchtung des Eies ein normales oder sehr häufiges Vorkommen, wobei jedoch nur ein Samenkern mit dem Eikern in Verbindung tritt (physiologische Polyspermie).

In vielen Fällen dringt vom Spermium, dem häufig das Eiplasma durch Vorwölbung eines Empfängnishügels (Fig. 26 A, *eh*) ent-

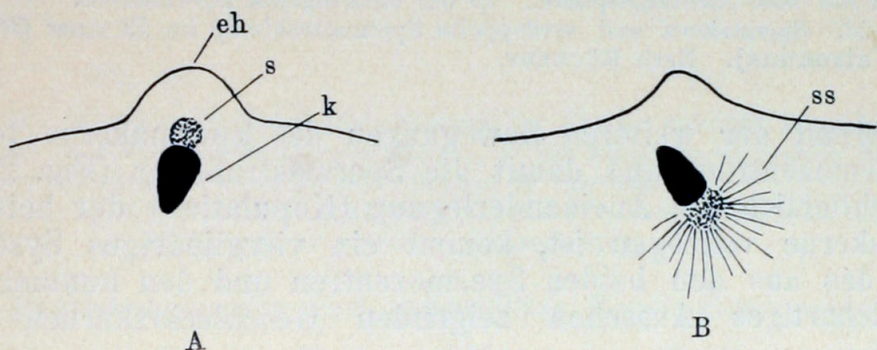


Fig. 26. **Eindringen des Spermiums ins Seeigelei.** Nach WILSON und MATTHEWS. *eh* Empfängnishügel, *k* Kern, *s* Sphäre, *ss* Spermastrahlung.

gegenkommt, nur der vordere Teil, einschließlich des Mittelstückes, in das Eiplasma ein, während der Schwanzfaden in der Eihülle stecken bleibt (Seeigel, Fig. 26 A).

Bei anderen Formen (Polycladen, Gastropoden u. a.) wird auch der Schwanz vom Ei aufgenommen, fällt jedoch früher oder später der Resorption anheim (Fig. 14 *spz*).

Gewöhnlich sieht man also von dem eingedrungenen Spermium nur den zunächst als kompakten, stark färbbaren Körper erscheinenden Kern (Fig. 26 A, *k*) und eine an Stelle des Mittelstückes zur Entfaltung kommende Differenzierung, das Spermiozentrum. Letzteres besteht entweder aus einem deutlichen Centrosom (? dem vorderen der Spermatide) oder aus einer körnigen, dotterfreien, als Sphäre bezeichneten Plasmainsel (Fig. 26 A, *s*), mit oder ohne Centrosoma.

Während sich das ganze System so dreht, daß das zuerst hinter dem Kopf gelegene Spermiozentrum gegen das Eiinnere zu liegen kommt (Fig. 26 B), und während es sich mehr und mehr dem Eikern nähert, tritt im Umkreis des Spermiozentrums als Ausdruck einer von ihm ausgehenden orientierenden Wirkung eine radiäre Anordnung der Plasmagranula und der Dotterkörnchen, die Spermastrahlung, hervor (Fig. 26 B, *ss*). Gleichzeitig verliert der Spermakern seine längliche (kegel- oder stiftförmige) Gestalt, seine dichte Konsistenz und nimmt mehr und mehr das Aussehen des Eikerns an (Fig. 28).

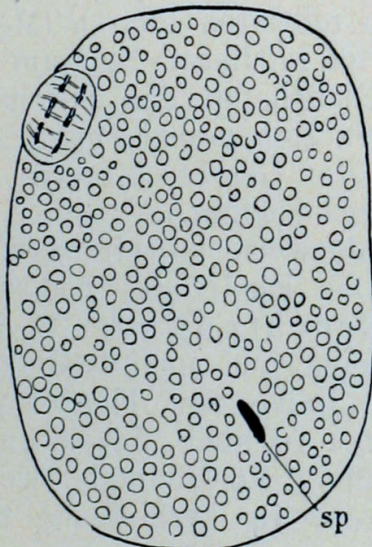


Fig. 27.

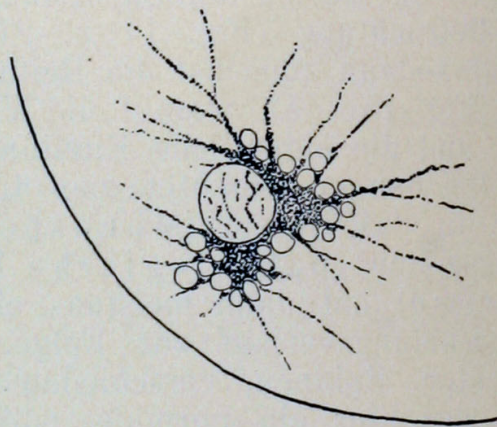


Fig. 28.

Fig. 27. Ei eines **Copepoden** (*Cyclops viridis*) im Beginn der Befruchtung. Links oben die erste Richtungsspindel. *sp* der eindringende Spermakern.

Fig. 28. Spermakern und verdoppelte Spermastrahlung im Ei eines **Copepoden** (*Cyclops strenuus*). Nach RÜCKERT.

Während der weiteren Bewegungen des Spermakerns teilt sich das Spermiozentrum und damit die Spermastrahlung (Fig. 28), und wenn schließlich die Aneinanderlegung (Kopulation) der beiden Geschlechtskerne vollzogen ist, kommt ein viergliedriges System zustande, das aus den beiden Spermiozentren und den nunmehr meist ein gleichartiges Aussehen zeigenden Geschlechtskernen besteht (Fig. 29).

Schon vor oder erst während der Kopulation bereiten sich die beiden Geschlechtskerne zur ersten Teilung (ersten Furchungsteilung) des nunmehr doppelkernigen Keimes vor, und zwar kommt in jedem Kern nach einer fast durchgängig gültigen Regel die gleiche Zahl von Chromosomen zur Entwicklung (Fig. 30, *ei*, *sp*). In vielen Fällen wird die Teilung der väterlichen und mütterlichen Kernsubstanz wenigstens während der ersten Furchung selbständig durchgeführt, so daß nicht nur im Äquatorialplatten- und Dyasterstadium deutlich zwei Gruppen von Chromosomen zu unterscheiden sind,

sondern auch bei der Bildung der Tochterkerne keine einheitlichen Kerne, sondern Doppelkerne entstehen, die aus den beiden elterlichen Halbkernen oder Gonomeren bestehen (Fig. 31). Bei einer Reihe von Formen, besonders bei den Copepoden, läßt sich diese Selbständigkeit oder Autonomie der Gonomeren auch bei den folgenden Teilungen bis zur Bildung der Urgeschlechtszellen verfolgen und deutliche Spuren des gonomeren Aufbaues treten auch noch späterhin bis zu den Prophasen der ersten Reifungsteilungen

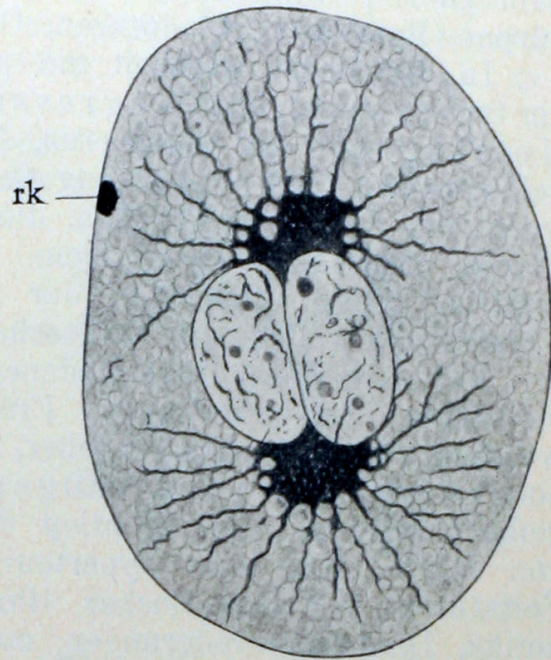


Fig. 29. Kernkopulation im Ei von **Cyclops strenuus**. *rk* der zweite Richtungskörper. Nach RÜCKERT.

hervor (binukleolärer Bau der jungen Kerne, Doppelknäuel und Doppelspindeln in den Spermatocyten 1. Ordnung).

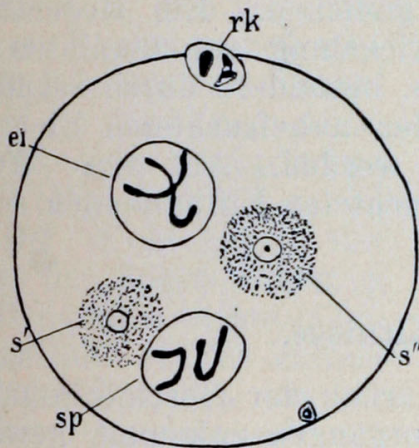


Fig. 30.

Fig. 30. Annäherung der Geschlechtskerne im Ei von **Ascaris megalocephala**. Nach BOVERI. *ei* Eikern, *rk* Richtungskörper, *s'*, *s''* die beiden durch Teilung des Spermiozentrums entstandenen Centrosomen mit Sphären, *sp* Spermakern.

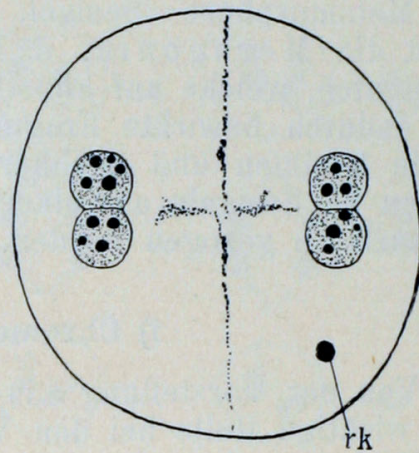


Fig. 31.

Fig. 31. Ei von **Cyclops tenuicornis** im Zweizellenstadium mit gonomer gebauten Kernen. *rk* eingedrungenen zweiter Richtungskörper.

e) Parthenogenesis und regressiver Generationswechsel.

Bei einer Reihe von Metazoen (Rotatorien, Entomostraken, zahlreichen Insekten) ist in bestimmten Generationen der Befruchtungsakt sekundär unterdrückt worden, und die Eier vermögen sich ohne Intervention der Spermien zu entwickeln. Die Vermehrung durch unbefruchtete Eier wird als Parthenogenesis (Jungfernzeugung) bezeichnet. Einen speziellen Fall bildet die Pädogenesis, worunter man die Erzeugung parthenogenetisch sich entwickelnder Eier durch unvollständig entwickelte Geschlechtstiere (Distomum) oder in der Entwicklung begriffene Larven (Gallmücke Miastor) oder Embryonen (marine Cladoceren) versteht.

Die parthenogenetischen Eier zeigen bemerkenswerte Verschiedenheiten bezüglich der Reifungsprozesse: es werden entweder zwei (Honigbiene, Gallwespen, Ameisen) oder nur ein einziger Richtungskörper (Rotatorien, Cladoceren, Ostracoden, Aphiden) gebildet.

In der Regel wechselt die parthenogenetische Vermehrung mit der typisch amphigonen (regressiver Generationswechsel oder Heterogonie der Cladoceren, Aphiden u. a.), es können aber auch beide Formen der Fortpflanzung gleichzeitig auftreten, wobei sich die befruchteten Eier zu weiblichen, die parthenogenetischen zu männlichen Tieren entwickeln (Honigbiene). Bei einzelnen Formen (Cypris reptans, einige Cladoceren der Alpenseen) scheint die amphigone Vermehrung vollständig ausgeschaltet zu sein.

Bei den Eiern verschiedener Tiere (Echinodermen, Anneliden, Mollusken, Schmetterlingen, Fröschen, Fischen) kann durch Anwendung chemisch-physikalischer, thermischer oder mechanischer Reize eine künstliche parthenogenetische Entwicklung herbeigeführt werden. Als Agentien dienen Seewasser, das durch Zusatz von $MgCl_2$, KCl usw. hypertonisch gemacht wurde, Säuren (CO_2 , Fettsäuren), Alkalien, Zucker, Harnstoff, verschiedene Gifte und Narkotika, Temperaturänderungen, mechanische Reizung durch Schütteln, Bürsten oder Einstiche. Es werden entweder nur unregelmäßige Ansätze zur Entwicklung gemacht oder es kann die Entwicklung bis zur Bildung normaler Larven (Frösche) oder sogar bis zur Vollendung der Metamorphose (Seeigel, Seesterne) gedeihen. Ein Gegenstück bildet die Merogonie, d. h. die Entwicklung von kernlosen Eifragmenten, welche auf künstlichem Wege, besonders durch Schütteln und dadurch bewirkte Fragmentierung der unbefruchteten Eier zustande kommen und nachher befruchtet werden. Auf diese Weise können bei Seeigeln aus eikernlosen, befruchteten Eifragmenten sogar Pluteuslarven gezogen werden.

f) Chromosomenverhältnisse.

Von der Vorstellung aus, daß den Kernen der Geschlechtszellen eine wichtige Rolle bei den Vererbungsvorgängen zukommt, gewinnt das Verhalten der Chromosomen bei der Befruchtung und Reifung ein besonderes Interesse. Nimmt man insbesondere an, daß die bei einer Kernteilung auftretenden Kernschleifen oder Chromosomen mit den am Schluß der vorhergehenden Teilung in die Bildung des Kerns eingegangenen Chromosomen in stofflicher Kontinuität stehen, also gewissermaßen die nämlichen Individuen darstellen (Individualitätstheorie), so erhebt sich die Frage nach den Zahlenverhältnissen und nach den Mitteln, durch welche die spezifische Chromosomenzahl von Generation zu Generation konstant erhalten wird.

Nach einer ersten Regel bringen die beiden miteinander kopulierenden Geschlechtskerne die gleiche Zahl von Chromosomen zur Entwicklung (Fig. 30 u. 32 F). Durch Summierung dieser väterlichen und mütterlichen Chromosomen entsteht sodann die normale, nicht-reduzierte, diploide oder somatische Zahl, die sich in der Regel durch die ganze Embryonalentwicklung und meist auch bei den späteren Teilungen forterhält und insbesondere auch bei den Teilungen der Urgeschlechtszellen, sowie in den Spermatogonien und Ovogonien zum Vorschein zu kommen pflegt.

Eine Ausnahme von der ersten Regel bilden die Formen, von welchen zweierlei, hinsichtlich ihres Chromosomenbestandes verschiedene Spermien, aber einerlei Eier gebildet werden (s. oben S. 71). In diesem Falle stoßen bei der Hälfte der Befruchtungsakte Geschlechtskerne mit verschiedenem Chromosomenbestand zusammen.

Nach einer zweiten Regel ist die Zahl der komplexen, meist vierteiligen Chromosomen, welche in den Spermato- cyten und Ovocyten 1. Ordnung in den Vorstadien der ersten Reifungsteilung auftreten (Fig. 32 B), also die Zahl der Vierergruppen oder Tetraden und ihrer Homologa (Doppelstäbe, Ringe, Kreuze) halb so groß, als die in den Spermatogonien und Ovogonien (Fig. 32 A) auftretende normale Zahl. Indem sich diese komplexen Elemente im Verlauf der beiden Reifungsteilungen (Fig. 32 C—E) je in vier einfacher gebaute Elemente zerlegen, erhält jede der Geschlechtszellen die halbe, reduzierte oder haploide Zahl (Fig. 32 F).

Der Uebergang von der in den Spermatogonien und Ovogonien auftretenden Normalzahl zu der halben Zahl der Tetraden erfolgt, wie fast allgemein anerkannt wird, in der Weise, daß eine paarweise Vereinigung oder Syndese je zweier spermatogonialer und ovogonialer Elemente stattfindet. Eine wirkliche numerische Reduktion findet also nicht statt, sondern nur eine scheinbare (Scheinreduktion, Pseudoreduktion), da ja noch alle Chromosomen-Individuen vorhanden sind. Nach der einen Ansicht erfolgt die Syndese durch Parallellagerung je zweier Elemente (Parallelkonjugation, Parasyndese), und zwar in dem Stadium des einseitig im Kernraum zusammengedrängten Fadenknäuels (Synapsis), nach einer anderen Ansicht, die in der Fig. 32 eine Darstellung gefunden hat, legen sich je zwei Chromosomen hintereinander (endweise Konjugation, Metasyndese, Fig. 32 B). Auf jeden Fall findet noch ein Längsspaltungsprozeß statt, auf Grund dessen die durch Syndese ent-

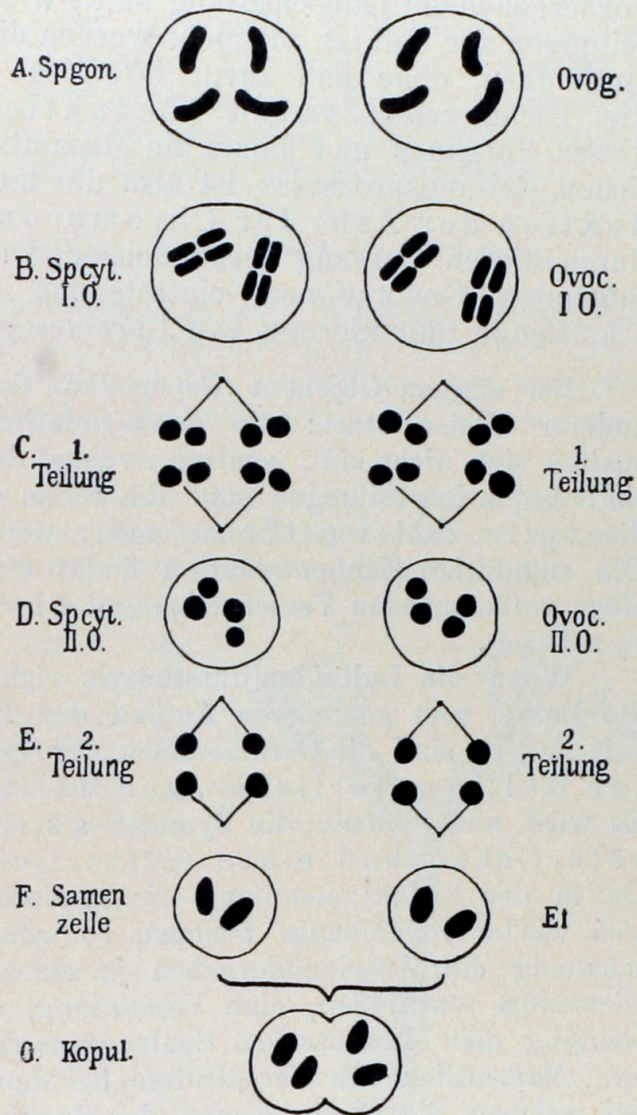


Fig. 32. Schematische Darstellung des parallelen Verlaufs der Spermatogenese und Ovogenese einer Tierform mit 4 Chromosomen.

standenen bivalenten Elemente in die charakteristischen vierteiligen Gruppen oder Tetraden verwandelt werden (Fig. 32 B). In der einen Reifungsteilung, sei es in der ersten (Fig. 32 C), oder in der zweiten, erfolgt dann die Verteilung nach dem Längsspalt (Aequationsteilung), im anderen Teilungsprozeß dagegen werden die zuvor durch Syndese verbundenen Paarlinge wieder voneinander getrennt und auf die Tochterzellen verteilt (Fig. 32 E). Es findet also bei der letzteren Teilung keine Verteilung der Chromosomen auf Grund einer vorhergehenden Längsspaltung statt, wie dies bei gewöhnlichen Kernteilungen der Fall ist, vielmehr werden die vorhandenen Chromosomen-Individuen, ohne daß zuvor ihre Zahl verdoppelt worden war, auf die Tochterzellen verteilt (Reduktionsteilung). Die Wirkung dieses Vorgangs und damit die Gesamtwirkung des ganzen umständlichen Reifungsprozesses ist also die tatsächliche numerische Reduktion der Zahl der Chromosomen-Individuen. Es wird durch diesen Vorgang vermieden, daß durch die in den aufeinanderfolgenden Generationen eintretenden Befruchtungsakte eine fortschreitende Summierung von Chromosomen-Individuen stattfindet.

Bei einigen Objekten (Copepoden) findet offenbar die Reduktion in anderer Weise statt: die metasyndetisch verbundenen Chromosomen spalten sich nicht ein-, sondern zweimal der Länge nach, beide Teilungen sind Aequationsteilungen und die reifen Geschlechtszellen erhalten also die volle Zahl von Chromosomen, wenn auch paarweise verkoppelt. Die endgültige Zahlenreduktion findet erst später, offenbar auf Grund einer vollkommenen Verschmelzung der beiden Paarlinge statt (Teleutosyndese).

Wenn die Individualitätstheorie richtig ist und insbesondere auch die Lehre vom gonomeren Aufbau der Embryonalkerne (S. 77) Gültigkeit hat, so sind die Chromosomen der Spermatogonien und Ovogonien je zur Hälfte väterlicher, zur Hälfte mütterlicher Abkunft. Es wird nun vielfach die Syndese als eine Konjugation je eines väterlichen und eines mütterlichen Chromosoms aufgefaßt. Da in der Reduktionsteilung die syndetisch verbundenen Chromosomen sich wieder voneinander trennen, so würde hier also nach dieser Anschauung ein Auseinandergehen je eines väterlichen und mütterlichen Elementes stattfinden, eine Vorstellung, die für die zellengeschichtliche Deutung der MENDELSchen Spaltungsprozesse von Bedeutung geworden ist. Namentlich die Verhältnisse bei den Orthopteren und Hemipteren, bei welchen die Chromosomen der Spermatogonien und Ovogonien verschiedene Größenabstufungen erkennen lassen und die Syndese jeweils zwischen gleich großen Elementen stattzufinden scheint, sprechen zugunsten der Konjugationshypothese, doch ist eine Verallgemeinerung kaum angängig, zumal da in manchen Fällen noch in der ersten Reifungsteilung ein gonomerer Bau der Kerne vorzukommen scheint (S. 77).

Bezüglich der Chromosomenverhältnisse in parthenogenetischen Eiern gehen zum Teil infolge der Ungunst der meisten Objekte die Ergebnisse auseinander. Danach würde entweder überhaupt keine Reduktion stattfinden, oder die Zahlenreduktion würde im Ei durch irgendwelche Vorgänge, z. B. durch Vereinigung des Eikernes mit dem zweiten Richtungskörper, kompensiert werden, oder die reduzierte Zahl bleibt bei der Embryonalentwicklung erhalten. Letzteres soll bei der Entwicklung der Bienen- und Ameisenmännchen der Fall sein.

Bei der künstlichen Parthenogenese (S. 78) bleibt, wenigstens bei Seeigeln, die reduzierte Zahl während der Entwicklung erhalten.

III. Vermehrung durch Zellkomplexe (vegetative Vermehrung) und Allgemeines.

Die von ganzen Zellkomplexen ausgehende vegetative Vermehrung ist, mit Ausnahme der Arthropoden und Mollusken, in allen größeren Abteilungen der vielzelligen Wirbellosen verbreitet. Bei den Einzelligen kann natürlich von einer vegetativen Vermehrung im ursprünglichen Sinne nicht die Rede sein. Immerhin findet letztere in den Sprossungs- und Fragmentationsvorgängen vielkerniger (plasmodial gebauter) Protozoen („koloniebildende“ Radiolarien, Trichosphaerium, Fig. 2, *IA*, *IB*, *VIA*, *VIB*) eine Art von Seitenstück.

a) Verschiedene Formen der vegetativen Vermehrung.

Bei den vielzelligen Wirbellosen tritt die vegetative Vermehrung in drei Hauptformen auf, die als Längsteilung, Querteilung und Knospung bezeichnet werden. Mit der dritten, am weitesten verbreiteten Form sind die beiden anderen selteneren Typen durch Uebergänge verbunden.

1) Die **Längsteilung** als spontaner, d. h. nicht durch erkennbare äußere Reize hervorgerufener Vermehrungsvorgang, ist bei einer ganzen Reihe von radiär gebauten Tieren beobachtet worden, so beim Süßwasserpolyphen (Fig. 33), wo sie schon TREMBLEY (1749) zu Gesicht kam, ferner bei Medusen, Aktinien und stockbildenden Zoantharien. In allen Fällen beginnt der Spaltungsvorgang an dem einen Pole der Hauptachse, entweder am Munde oder am aboralen Ende, und schreitet allmählich nach dem anderen Pole vor.

Bleibt die Längsspaltung unvollständig und findet eine öftere Wiederholung des Prozesses statt, so kommt es zur Stockbildung, unter anderem führen bei den „fissiparen“ Maeandrinen Spaltungsvorgänge dieser Art zur Bildung der bekannten Furchungssysteme (Fig. 34).

Auch die Teilungsvorgänge bei Seesternen und Schlangensepten, bei welchen auf Grund einer Durchteilung der Scheibe eine Zerlegung sechs- oder achtarmiger Individuen in solche mit weniger Armen erfolgen kann, sind hierher zu rechnen, insofern die Spaltung in der Richtung der Hauptachse oder wenigstens parallel zu dieser vor sich geht.

2) **Querteilungen**, d. h. Spaltungen, die senkrecht zur Längsachse verlaufen und sich über die ganze Breite des Tierkörpers erstrecken, sind als spontane Prozesse namentlich bei Cnidariern (*Hydra*, *Gonactinia*, Fig. 35, *Fungia*), Turbellarien (*Microstoma*, *Stenostoma*), Oligo-



Fig. 33. *Hydra viridis* im Beginn der Längsteilung. [Nach LEIBER.]

chäten (Lumbriculus, Ctenodrilus, Chaetogaster, Fig. 36 A, Naïs, Fig. 36 B) und Holothurien (Cucumaria, Synapta) bekannt.

Findet bei diesen Teilungen die Regeneration der Teilstücke zu ganzen Individuen erst nach der vollständigen Durchschnürung statt

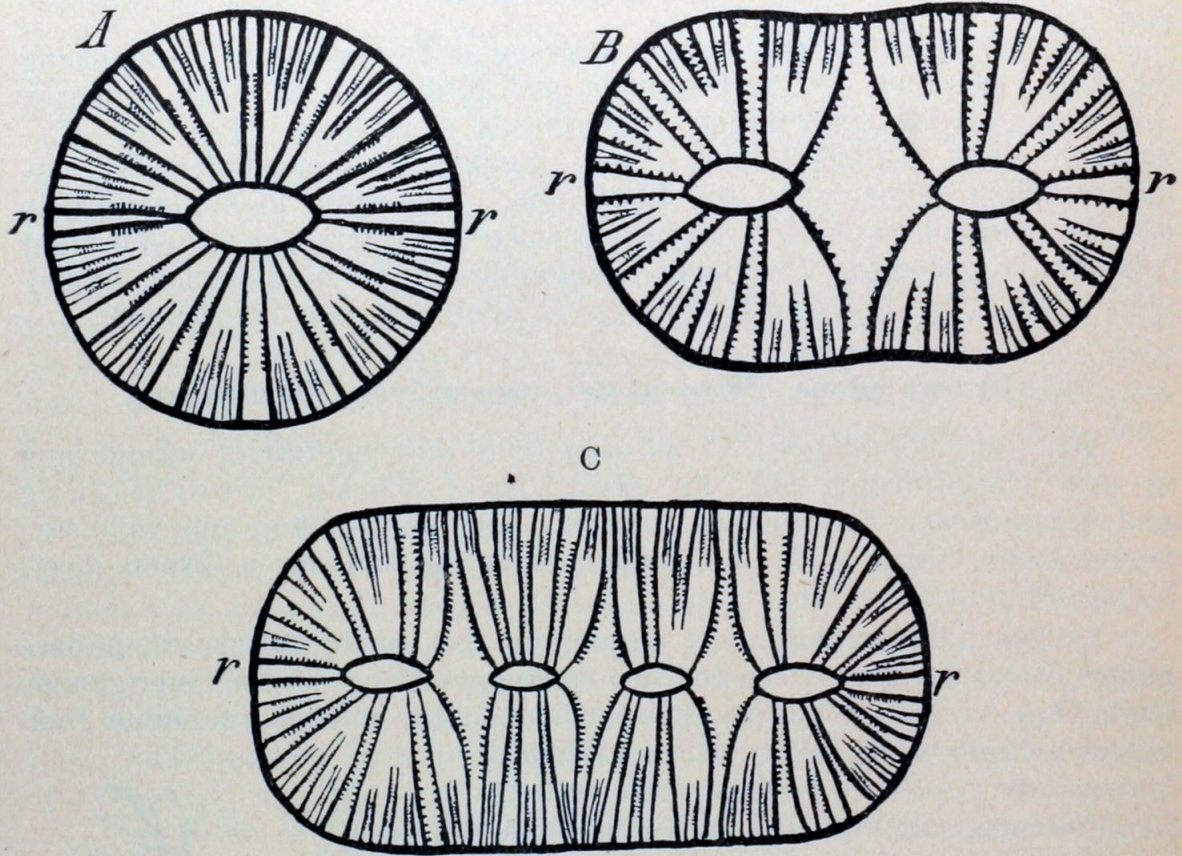


Fig. 34. Längsteilung bei einem **Korallenpolypen (Manicina areolata)**. Nach DUERDEN aus KORSCHOLT und HEIDER. A ungeteilter Polyp, B in Teilung begriffener Polyp mit 2 Schlundröhren und getrenntem Septensystem. C Stöckchen mit 4 Schlundröhren und 4 Septalsystemen. *rr* Richtungssepten.

(Hydra, Lumbriculus), so spricht man von Schizogonie oder auch Architomie, erfolgt die Neubildung der fehlenden Organe wenigstens größtenteils schon vor der Durchschnürung (Gonactinia, Microstoma), so liegt eine Paratomie vor.

Mitunter geht der Querteilung eine ungleiche Differenzierung der zukünftigen Teilstücke voran. So bilden beim Palolowurm (Eunice viridis, Fig. 37) die hinteren Körpersegmente vor ihrer Abtrennung nicht bloß die Geschlechtsprodukte aus, sondern sie erfahren auch hinsichtlich der Form und Borstenbewaffnung eine wesentliche Abänderung: die Querteilung ist also in diesem Falle mit einer Metamorphose der Geschlechtssegmente, einer Epitokie, verbunden.

Die Querteilung kann eine mehrfache sein, indem entweder nur das eine Schwestertier oder Zoöd vor der vollständigen Durchtrennung des Muttertieres aufs neue zur Teilung schreitet (Gonactinia, Fig. 35; Naïs, Fig. 36 B), oder indem sich beide gleichzeitig und in rhythmischer Weise in Enkel- und Urenkeltiere zerlegen (Chaetogaster, Fig. 36 A).

Auch die mehrfache Querteilung kann mit einer ungleichen Differenzierung der Ausgangsindividuen und der sich abschnürenden

Teilstücke verbunden sein, insbesondere bildet so die mehrfache Querteilung bei *Gonactinia* (Fig. 35) die Brücke zur Strobilation¹⁾ der

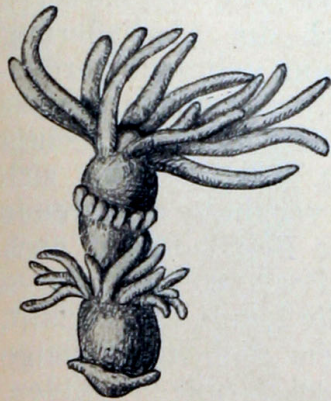


Fig. 35.

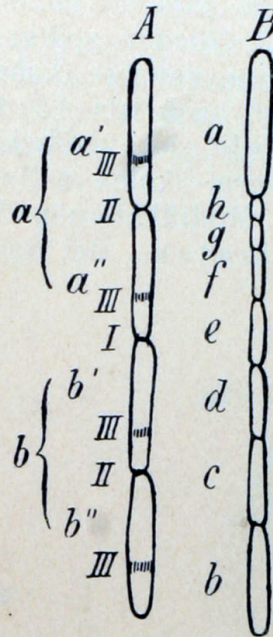


Fig. 36.

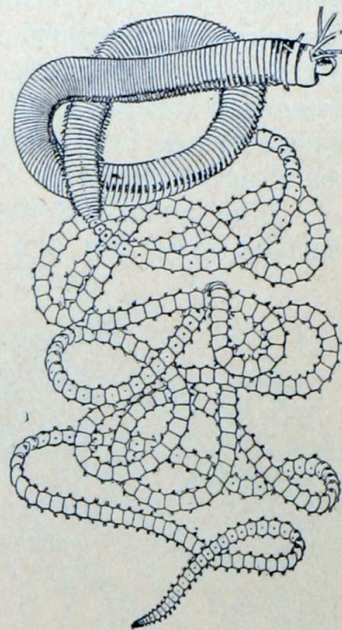


Fig. 37.

Fig. 35. Querteilung von *Gonactinia prolifera*. Der distale Sprößling beginnt sich aufs neue zu teilen. Nach CARLGREN aus KORSCHOLT und HEIDER.

Fig. 36. Mehrfache Querteilung bei Anneliden. A wiederholte Querteilung beider Schwestertiere (*Chaetogaster*), B wiederholte Querteilung des einen Sprößlings (*Naïs*). I—III aufeinanderfolgende Teilungsebenen. Nach SEMPER aus KORSCHOLT und HEIDER.

Fig. 37. Palolowurm der Samoa- und Fidji-Inseln (*Eunice viridis*). Natürliche Größe. Der hintere schmale (epitoke) Teil entwickelt die Geschlechtsprodukte und schwärmt an die Oberfläche, die vordere breite (atoke) Wurmstrecke bleibt im Riff. Nach WOODWORTH aus KORSCHOLT und HEIDER.

Scyphomedusen (Fig. 38): Der obere Teil des festsitzenden Scyphopolypen oder Scyphostoma grenzt sich, indem er die Charaktere der jungen Meduse

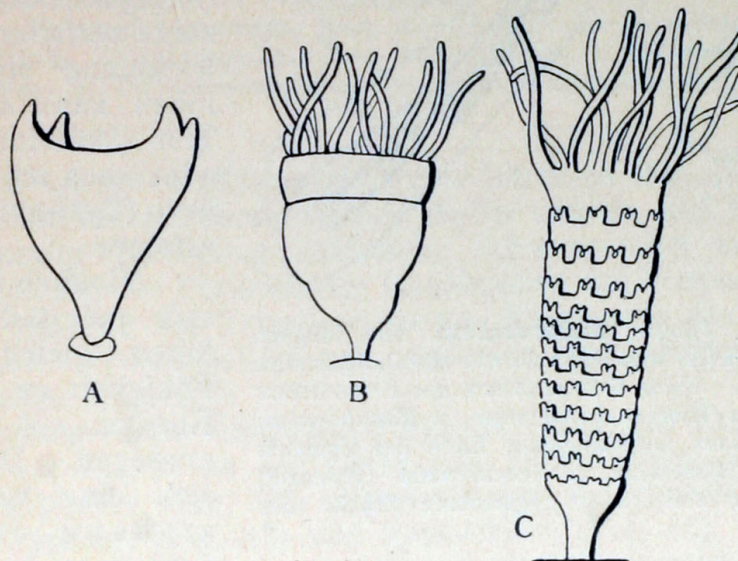


Fig. 38. Strobilation von *Aurelia aurita*. A Junges Scyphostoma mit 4 Tentakelknospen. B Auftreten der ersten Ringfurche. C Aeltere polydiske Strobila. Nach HATSCHHECK.

1) στροβίλος Tannenzapfen.

oder Ephyra entwickelt, mittels einer Ringfurche gegen den unteren Teil ab, und da sich dieser Prozeß, noch vor der Loslösung der ersten Meduse, mehrfach wiederholt, entsteht zunächst die einem Tellersatz ähnliche Strobilaform, deren Glieder später als Ephyren freiwerden. Mit diesem Vorgange, der eine gewisse Aehnlichkeit mit Knospungsprozessen besitzt und daher auch als fortgesetzte terminale Knospung bezeichnet wurde, ist vielfach auch die Abgliederung der Proglottiden vom Bandwurm-Skolex in Beziehung gebracht worden.

Eine andere Reihe von Modifikationen des Querteilungsprozesses findet sich bei den Tunicaten. Bei der Synascidie *Amaroecium*

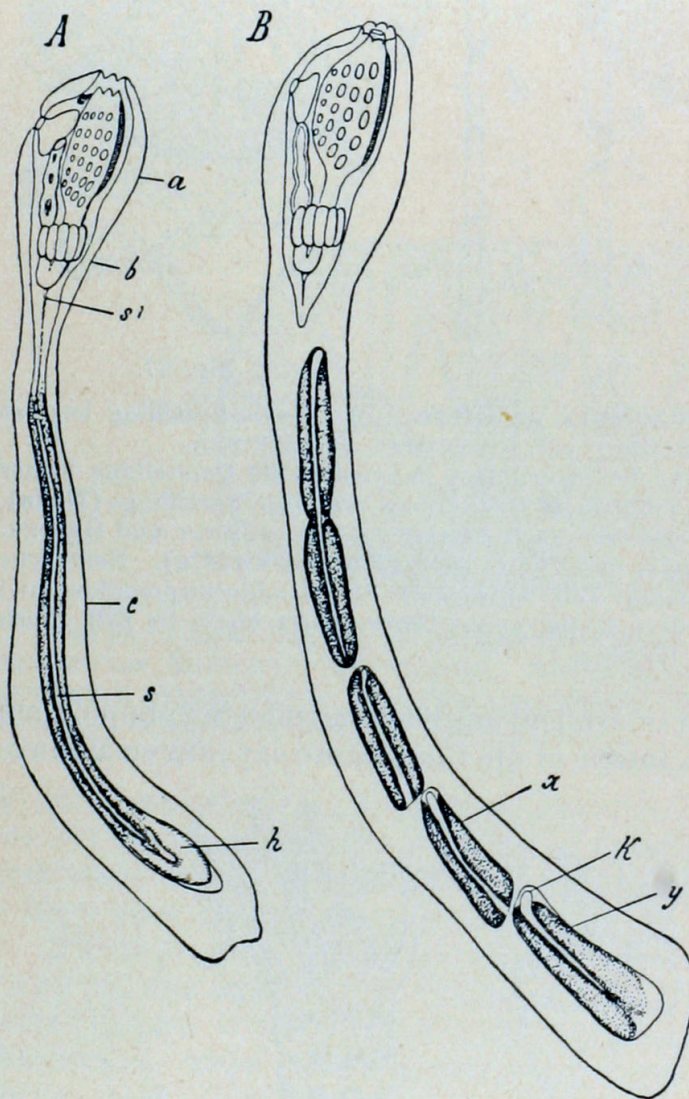


Fig. 39. Junges *Amaroecium* mit langem Postabdomen vor (A) und während der postabdominalen Querteilung (B). Nach KOWALEVSKY aus KORSCHULT und HEIDER. *a* Thorax, *b* Abdomen, *c* Postabdomen, *h* Herz, *k* vorderes aufgetriebenes Ende des Epicards im hintersten Blastozoid, *s* Scheidewand (Epicard), *s'* deren basaler Teil, *x*, *y* abgetrennte Stücke des Postabdomens.

(Fig. 39) streckt sich das verjüngte Hinterende oder Postabdomen nach der Festsetzung der Larve in die Länge und zerfällt, indem sich ringförmige Einschnürungen bilden, in eine Anzahl von Teilstücken, welche wegen ihrer Entstehung auf vegetativem Wege im Gegensatz zu dem aus dem Ei entstandenen Oozoid als Blastozoid bezeichnet werden. Bei anderen Tunicaten werden eigentliche Stolonen, d.h. schlauchförmige Ausläufer mit mehrschichtiger Wandung gebildet, welche auf Grund von Querteilungsprozessen in Blastozoid zerfallen. Die Entwicklung solcher Stolonen kann am fertigen Tier (*Doliolum*, Fig. 40) oder auch schon am Embryo (*Pyrosoma*, Fig. 41) erfolgen.

Vielfach kommt den sich quer teilenden Stolonen gleichzeitig die Fähigkeit zu, laterale Knospen (s. unten) zu erzeugen. Darin zeigt sich eine weitere Beziehung der Querteilung zur Knospenbildung.

3) Die **Knospung**, d. h. die von einem wenig umfangreichen Zellkomplex ausgehende Bildung eines neuen Individuums, ist bei Spongien, Cnidarien, Bryozoen und Tunicaten weit verbreitet. In der

Regel stellt sie sich als laterale, d. h. von den Seitenwandungen des Tierkörpers oder seiner Fortsätze entspringende Knospung dar (Fig. 42).

Unter den Würmern weisen diejenigen Cestoden, welche im Blasen- oder Finnenzustand, sei es direkt, sei es durch Vermittlung von Tochter- oder Enkelblasen (Brutkapseln) nicht bloß einen, sondern eine größere Zahl von Scolices bilden (*Taenia coenurus*, *echinococcus*, Fig. 43, *crassiceps*), unter den Anneliden namentlich die Syllideen

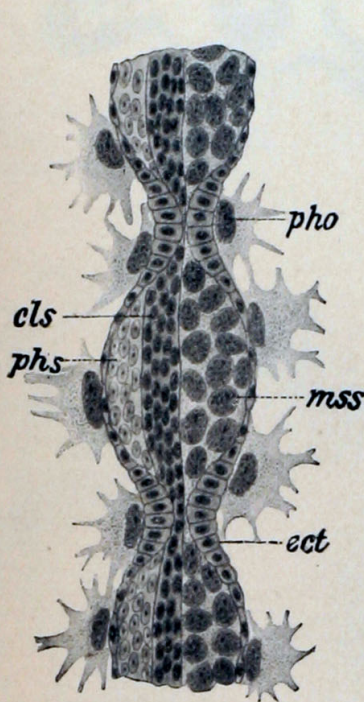


Fig. 40.

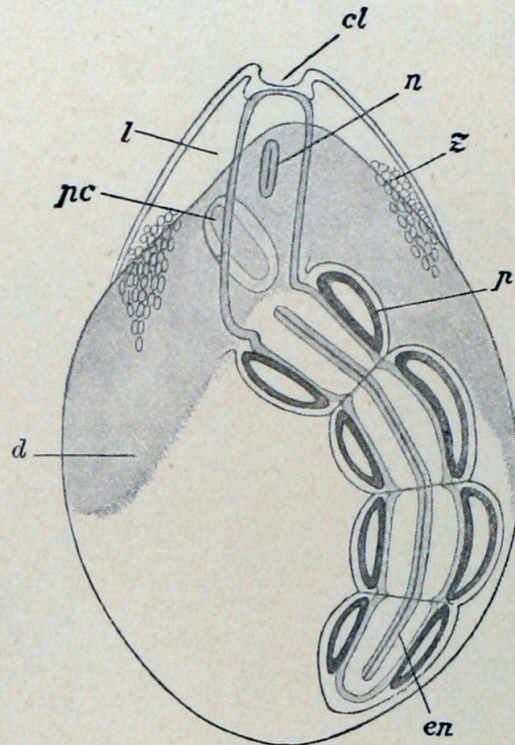


Fig. 41.

Fig. 40. Abschnitt vom Ventralstolo der Larve von **Doliolum Gegenbauri**. Nach NEUMANN aus KORSCHOLT und HEIDER. *cls* Cloakalstrang, *ect* Ektoderm, *mss* Mesodermstrang, *pho* Phorocyten, *phs* Pharyngealstrang.

Fig. 41. **Pyrosomenembryo**. Nach KOWALEVSKY aus KORSCHOLT und HEIDER. *cl* Cloakenöffnung, *d* Nahrungsdotter, *en* Endostylfalten, *l* Leibeshöhle des Oozoids, *n* Nervensystem, *p* Peribranchialröhren, *pc* Pericardialsäckchen, *z* „Zellenzone“ der Keimscheibe.

typische Knospungsvorgänge auf. Unter letzteren läßt die im Inneren von Hexaktinelliden schmarotzende *Syllis ramosa* auf Grund mehrfacher lateraler Knospung zahlreiche Schwanzenden entstehen, die eine Ausbreitung des Parasiten im Kanalsystem des Wirtes ermöglichen (Fig. 44), während bei *Trypanosyllis* am Hinterende des Muttertieres eine reichliche Proliferation von ventralen und seitlichen Knospen eintreten kann (Fig. 45).

Sehr häufig treten Knospungsvorgänge bereits an Embryonen und Jugendformen auf, so an der Larve von parasitischen Narcomedusen und Siphonophoren (Fig. 46), sowie an den Embryonen und Larven mancher Bryozoen (Fig. 47) und Synascidien (Fig. 48).

Wie die Querteilung, so geht auch die Knospenbildung vielfach nicht vom eigentlichen Tierkörper, sondern von schlauchförmigen Ausläufern des letzteren, von Stolonen, aus. Eine solche stoloniale Knospung ist besonders bei Hydroidpolypen, Anthozoen (Fig. 49),

Ascidien (Clavellina) und Salpen (Fig. 50), sowie bei den isolierten Wurm-
typen der Pterobranchier (Cephalodiscus, Rhabdopleura) zu beobachten.

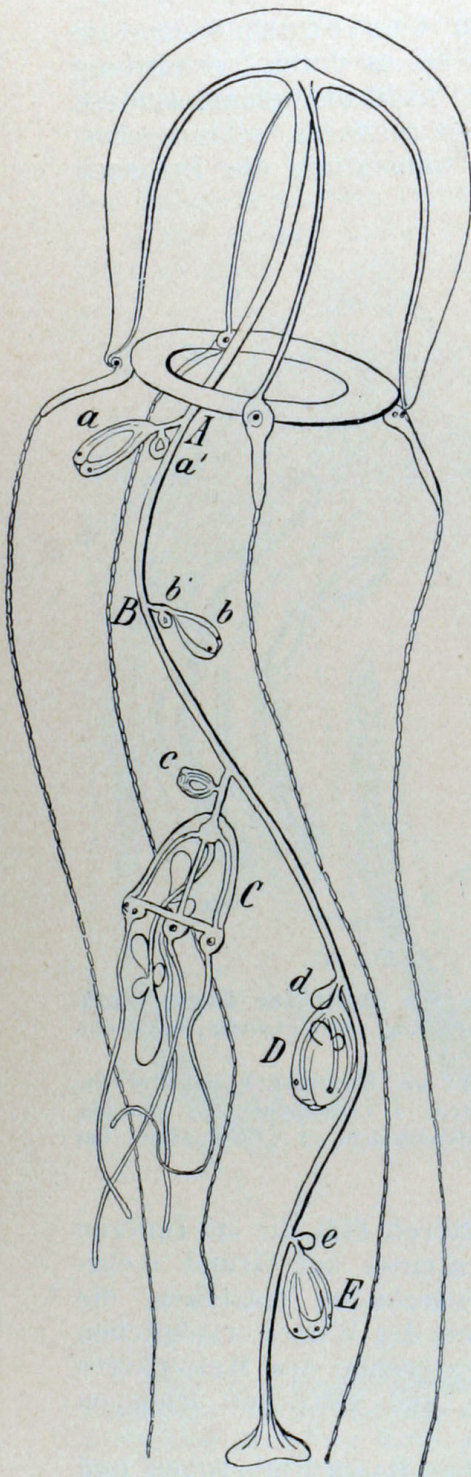


Fig. 42.

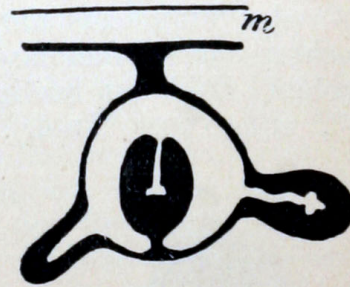


Fig. 43.

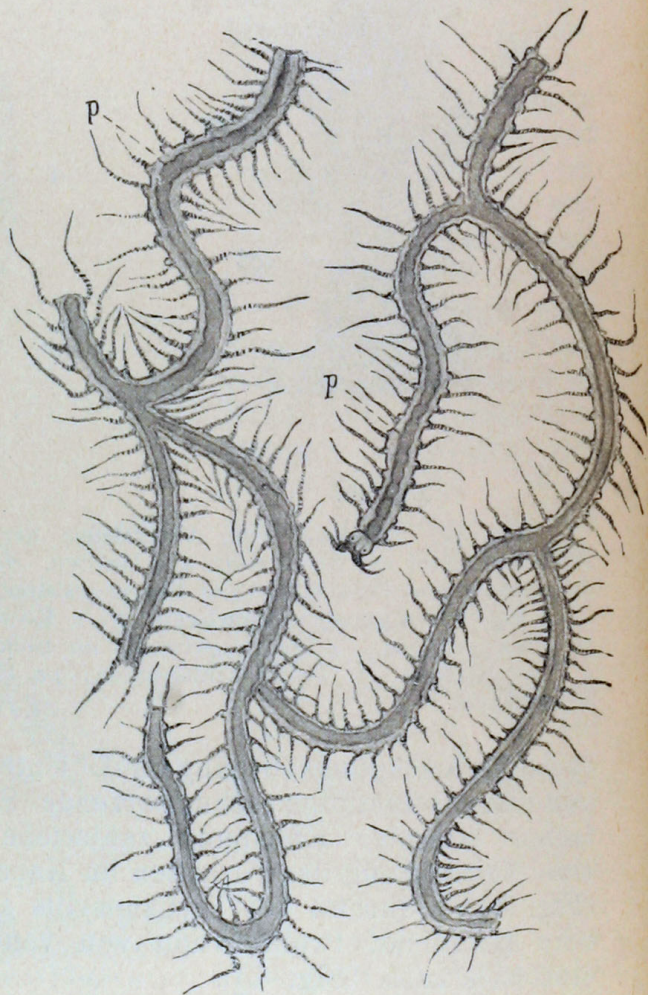


Fig. 44.

Fig. 42. **Dipurena dolichogaster** (SARSIADÉ) mit 5 Knospungsgruppen am Manubrium. Nach CHUN aus KORSCHOLT und HEIDER. C—E Tochterknospen (bei A und B sind die Tochtermedusen schon abgelöst), a—e Ersatzknospen 1. Grades, a', b' Ersatzknospen 2. Grades. Manubrium der Tochtermeduse C mit neuen Knospen.

Fig. 43. Brutkapsel von **Taenia echinococcus** mit drei Skolexanlagen. m Wand der Mutterblase. Nach LEUCKART.

Fig. 44. **Syllis ramosa**. Zum Teil nach MCINTOSH aus KORSCHOLT und HEIDER.

Fig. 45. Hinterende von **Trypanosyllis misakiensis**. Nach IZUKA aus KORSCHOLT und HEIDER.

Fig. 46. Larven von **Cupulita (Halistemma) picta** mit Sonderung der Anlagen der Einzelindividuen (Pneumatophor, Nährpolyp, ? Tentakel). Nach CHUN aus KORSCHOLT und HEIDER. A Planula, B späteres Stadium. *ekt* Ektoderm, *ent* Entoderm, *m* Mundöffnung, *p* der zum Nährpolypen werdende Teil, *pn* Pneumatophor, *t* Tentakelanlage.

Fig. 47. Embryo von **Alcyonella fungosa** mit zwei Polypiden (*p*). *m* Mantelfalte. Nach NITSCHKE aus KORSCHOLT und HEIDER.

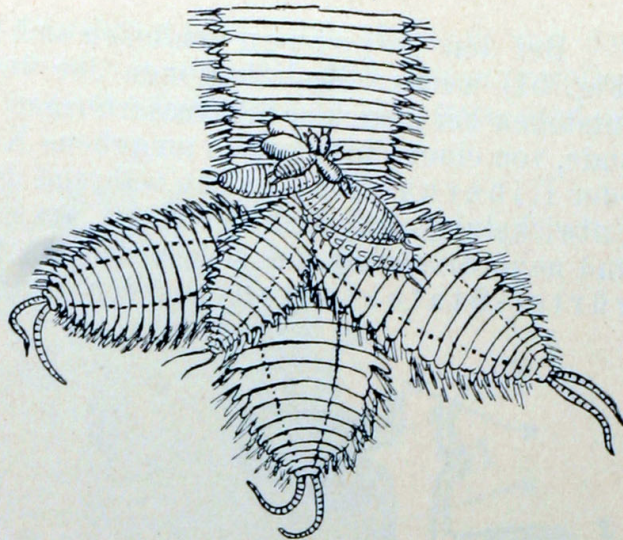


Fig. 45.

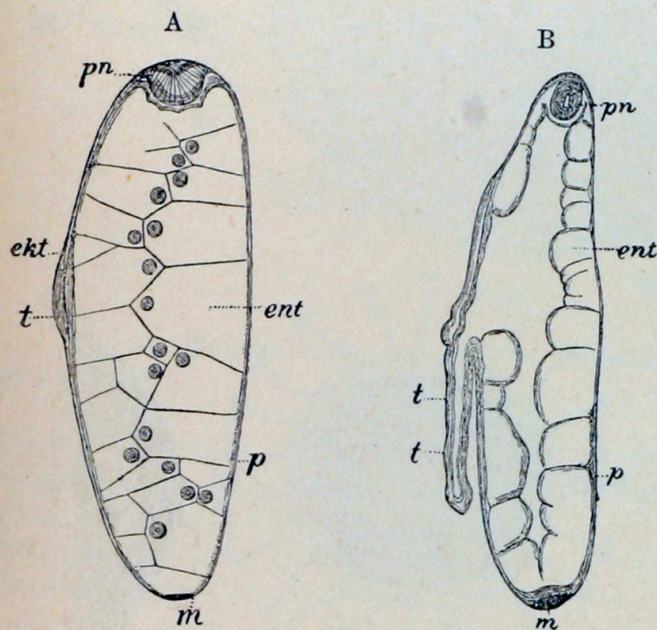


Fig. 46.

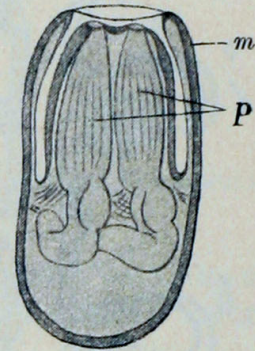


Fig. 47.

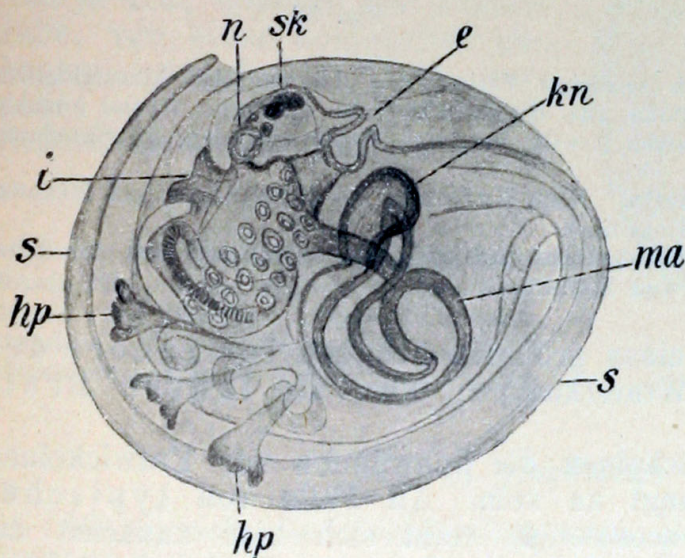


Fig. 48.

Fig. 48. Embryo von **Didemnum niveum** mit Knospenanlage. Nach SALENSKY aus KORSCHOLT und HEIDER. *e* Egestions-, *i* Ingestionsöffnung, *hp* Haftpapillen, *kn* Knospenanlage, *ma* Magen, *n* Ganglion, *s* Schwanz, *sk* Sinneskörper (Statocyste und Augenblase)

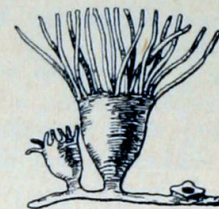


Fig. 49. **Scyphostoma** mit Stolonbildung. Nach M. SARS aus KORSCHOLT und HEIDER.

Bei den Bryozoen schließen sich dann an die Stolonenknospung (Fig. 51) weitere Modifikationen der vegetativen Vermehrung an. So entstehen bei manchen Süßwasserformen (*Victorella*, *Paludicella*) stoloniale, von einer Chitinkapsel umgebene Knospen, die Winterknospen oder *Hibernacula*, welche während der Winterruhe auf einer frühen Entwicklungsstufe stehen bleiben, um erst im Frühjahr frei zu werden und neue Stöckchen aus sich hervorgehen zu lassen. Die Schwimmgürtel-Statoblasten anderer Formen (Fig. 52) sind wohl als

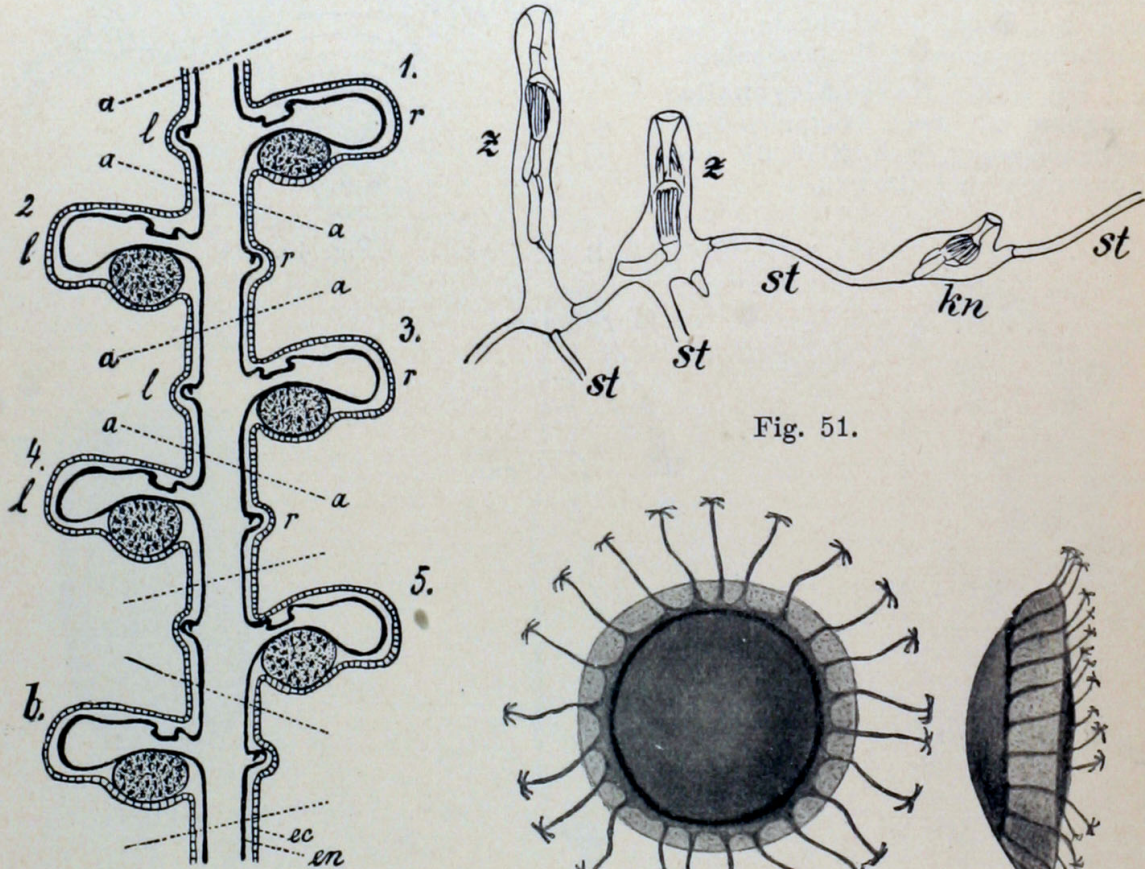


Fig. 50.

Fig. 52.

Fig. 50. **Salpenstolo** nach seitlicher Verlagerung der zunächst hintereinander gelegenen Blastozoiden. Nach BROOKS aus KORSCHOLT und HEIDER. *r* und *l* rechte und linke Reihe der Einzelindividuen (1—6), *aa* deren Trennungslinien, *ec* Ektoderm, *en* Entoderm.

Fig. 51. Stolo von **Victoriella**. Nach KRÄPELIN aus KORSCHOLT und HEIDER. *kn* Knospe, *st* Stolo, *z* Zoöcium (Einzeltier).

Fig. 52. Statoblasten von **Cristatella mucedo** von unten und von der Seite. Nach KRÄPELIN aus KORSCHOLT und HEIDER.

modifizierte, im Interesse eines größeren Schutzes ins Innere des Stockes verlagerte Winterknospen, also als innere Brutknospen aufzufassen.

Auf anderem Wege scheinen die Schwämme zur Entwicklung innerer Brutknospen gelangt zu sein. An Fälle von typischer Lateralknospung (*Leucosolenia*) reiht sich hier zunächst die Bildung äußerer Brutknospen an, d. h. von Tochterindividuen, die in größerer Zahl als keulenförmige Erhebungen an der Peripherie des Muttertieres ihre Entstehung nehmen und sich von letzterem in einem noch wenig differenzierten Zustande loslösen (*Tethya*, Fig. 53,

Lophocalyx). Die äußeren Brutknospen sind auch dadurch von den gewöhnlichen Lateralknospen unterschieden, daß ihre Ausgangszellen (Archäocyten) aus dem Inneren des Schwammes stammen, und so

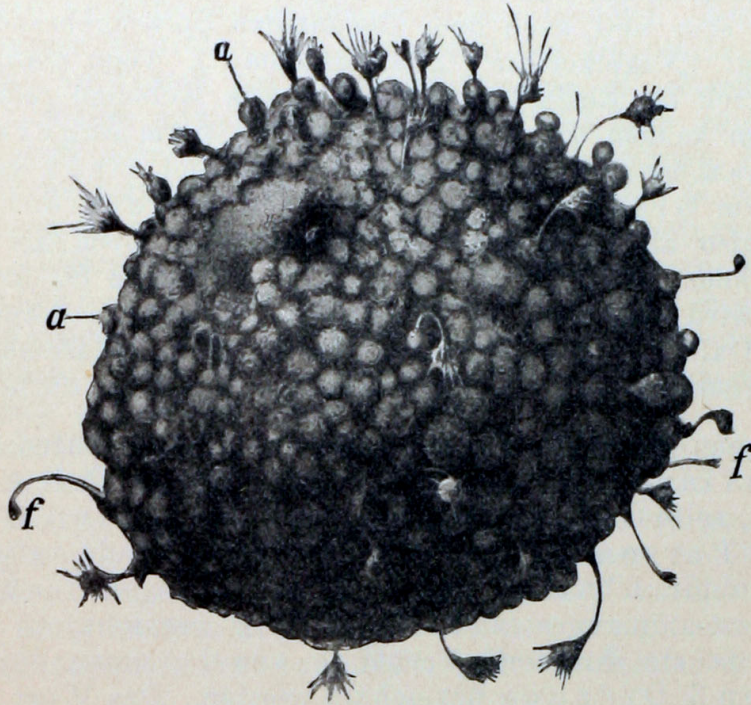


Fig. 53. **Tethya maza** mit äußeren Brutknospen. Nach SELENKA aus KORSCHOLT und HEIDER.

bilden sie eine natürliche Brücke zu den bei Süßwasserschwämmen verbreiteten inneren Fortpflanzungskörpern, den Gemmulae oder Dauerknospen (Fig. 54), welche ebenfalls aus Komplexen von Parenchymzellen ihre Entstehung nehmen, aber, im Gegensatz zu den äußeren Brutknospen von Tethya u. a., während der Winterruhe, von einer kompliziert gebauten, mehrfachen Hülle umgeben, in dem absterbenden Schwamme liegen bleiben.

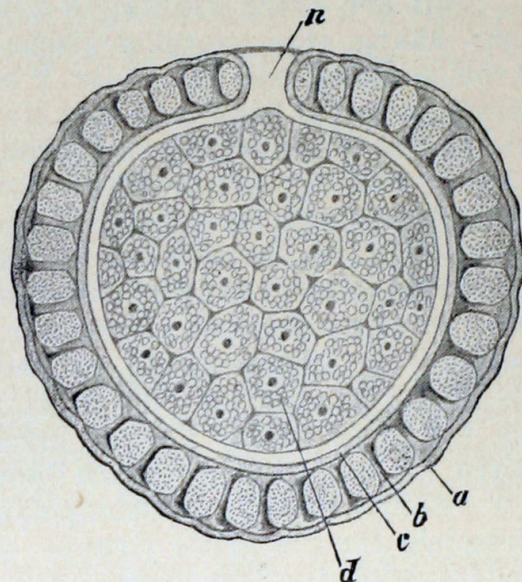


Fig. 54. Gemmula von **Ephydatia fluviatilis**. Nach VEJDOVSKY aus KORSCHOLT und HEIDER. *a* äußere Cuticularmembran, *b* Amphidiskenschicht, *c* innere Cuticularmembran, *d* Keimkörper, *p* Porus.

b) Tierstöcke.

Wenn sich die Tochtertiere vom Muttertier nicht lostrennen, sondern mit ihm im morphologischen Zusammenhange bleiben, so führt die vegetative Vermehrung zur Stockbildung. Stockbildende Formen finden sich unter den Schwämmen, Hydrozoen, Anthozoen, Bryozoen und Tunicaten.

Vielfach wird für die Tierstöcke auch die Bezeichnung Kolonien angewandt, wie denn überhaupt dieser Ausdruck für sehr verschiedene Tierformen, z. B. auch für die plasmodial gebauten Protozoen („koloniebildende“ Radiolarien) Verwendung findet. Es mag indessen vielleicht zweckmäßig sein und auch dem allgemeinen Sprachgebrauch mehr entsprechen (vgl. „Vogelkolonie“, „Reiherkolonie“), wenn man, sowohl bei Viel-, wie auch bei Einzelligen, nur dann von Kolonien redet, wenn die Individuen in keinem oder wenigstens in keinem engeren organischen Zusammenhang miteinander stehen und nicht oder nur in geringerem Grade gegeneinander differenziert erscheinen: man wird also allenfalls einen Pyrosomenzapfen noch als Kolonie bezeichnen können, während die Synascidien wirkliche Stöcke darstellen, und ebenso wird man auch bei denjenigen Volvocineen, deren Individuen nur durch Gallerte oder höchstens durch dünne Plasmabrücken miteinander verbunden sind, noch von Kolonien sprechen dürfen.

Wenn man innerhalb der Welt der cellular gebauten Organismen unter Individuen 1. Ordnung selbständige Zellen (einzellige Organismen, reife Geschlechtszellen) und unter Individuen 2. Ordnung oder Personen¹⁾ selbständige Zellverbände, also in erster Linie die solitär lebenden, aus verschiedenartigen Geweben und Organen zusammengesetzten Vielzelligen versteht, so können die Tierstöcke, da sie ihrerseits Verbände von Personen darstellen, als Individuen 3. Ordnung bezeichnet werden. Das Wort Individuum wird dabei freilich nicht in seinem strengen Sinne angewandt, insofern z. B. die einfacher gebauten Tierstöcke keineswegs als unteilbare Lebenseinheiten erscheinen, deren dauernde Existenzfähigkeit und physiologische Vollständigkeit auf dem Vorhandensein sämtlicher Teile beruht, sondern in hohem Maße der Teilbarkeit unterliegen.

Mit der durch vegetative Vermehrung bedingten Stockbildung ist sehr häufig eine morphologische Differenzierung und physiologische Arbeitsteilung, ein Di- oder Polymorphismus, verbunden. Im Hinblick darauf kann man drei Haupttypen von Stöcken unterscheiden: einfache Stöcke, deren Personen alle gleichwertig sind, differenzierte Stöcke mit di- oder polymorphen Einzeltieren, welche letztere ihrer Entstehung, ihrer gegenseitigen Anordnung und ganzen Beschaffenheit nach durchaus noch den Charakter von Personen haben, und personifizierte Stöcke, bei denen die gleichartig gebauten Einzeltiere so eng miteinander verbunden sind oder, im Fall Polymorphismus besteht, die Arbeitsteilung so weit gediehen ist, daß der ganze Stock als eine Person und die Einzeltiere, welche ihn zusammensetzen, als Organe dieser Person erscheinen. Zu der ersten Gruppe gehören die einfacher gebauten Spongien-, sowie die Korallenstöcke, zu der zweiten manche Hydroidpolypen und Bryozoen, sowie Doliolum. Beispiele für die dritte Gruppe stellen einerseits der Badeschwamm, andererseits die Schwimmpolypen dar.

Den echten oder primären Tierstöcken, deren Einzeltiere durch vegetative Vermehrung eines Muttertieres ihre Entstehung nehmen und also genetisch unmittelbar miteinander zusammenhängen, sind die durch Verschmelzung ursprünglich selbständiger

¹⁾ Die Bezeichnung „Person“ hat in diesem Zusammenhang verschiedene Anwendung gefunden. Dem Sprachgebrauch dürfte jedoch die Gleichsetzung Person = vielzelliges Individuum am meisten entsprechen.

Individuen (durch Konkreszenz oder Aggregation) entstehenden sekundären Stockbildungen bei Schwämmen, Korallen und Monascidien gegenüberzustellen.

Besondere Verhältnisse finden sich bei *Doliolum*. Hier bildet das Oozoid an seinem ventralen, am Hinterende des Endostyls entstehenden Stolo (Fig. 40) auf Grund von Querteilungsvorgängen zahlreiche Knospen, welche sich loslösen und, unter Mitwirkung besonderer amöboid beweglicher Transport- oder besser Vorspannzellen (Phorocyten, Fig. 40, *pho*) nach dem Rückenfortsatz oder dorsalen Stolo wandern (s. oben). Indem sich die Knospen an letzterem in bestimmter Anordnung festsetzen, findet eine Differenzierung in Pflegetiere (Phorozoiden) und Urgeschlechtsknospen (Protogonozoiden) statt, welche letztere auf dem Wege der Knospung die Geschlechtsknospen (Sexualblastozoiden) entstehen lassen. Diese setzen sich dann an den Stielen der späterhin vom Stock sich ablösenden Pflegetiere fest.

Augenscheinlich kann man bei *Doliolum* nicht von einem primären Stock im obigen Sinne des Wortes reden, insofern die am Rückenfortsatz vereinigten Individuen nur zum Teil in unmittelbarem genetischen Zusammenhang stehen. Vielmehr zeigen sich gewisse Anklänge an die erwähnten Konkreszenzen, sowie an die Verhältnisse bei den Salpen, wo die am Stolo entstandenen Kettensalpen unter gleichzeitiger Rückbildung des Stolos mittelst ihrer Haftpapillen in sekundäre Verbindung treten.

c) Progressiver Generationswechsel.

Indem in den aufeinanderfolgenden Generationen geschlechtliche und vegetative Vermehrung miteinander wechseln, kommt auch bei zahlreichen Vielzelligen ein Generationswechsel zustande, und zwar diejenige Form, die man als Generationswechsel im engeren Sinne, als progressiven Generationswechsel oder Metagenesis bezeichnet.

Den Gegensatz bildet bei den Vielzelligen einerseits der primäre Generationswechsel der höheren Pflanzen, d. h. der Wechsel zwischen Amphigonie und primärer Monocytogonie, und der regressive Generationswechsel oder die Heterogonie, d. h. der Wechsel von geschlechtlicher Vermehrung und sekundärer Monocytogonie (Parthenogenesis oder Pädogensis).

Von den drei Haupttypen der vegetativen Vermehrung kommen für den Generationswechsel der Metazoen hauptsächlich Querteilung und Knospung in Betracht. Im letzteren Falle ist der Generationswechsel in der Regel mit Stockbildung und Polymorphismus verbunden.

1) Ein Wechsel von Querteilung und geschlechtlicher Fortpflanzung findet bei Scyphozoen, Rhabdocölen, Anneliden, sowie bei einigen Ascidien statt. Am wenigsten ausgesprochen ist der Generationswechsel bei den Rhabdocölen (*Microstoma*) und bei einigen Anneliden (*Lumbriculus*, *Chaetogaster*), bei welchen sich das Stamtier meist auf Grund wiederholter Querteilungsprozesse (Schizogonie, Architomie) in eine größere Anzahl von gleichartigen Sprößlingen aufteilt, welche nach der Auflösung der so entstandenen Kette volle Geschlechtsreife erlangen (S. 82). So

kann z. B. bei *Microstoma* auf eine Reihe von vegetativ sich vermehrenden Frühlings- und Sommergenerationen eine abschließende Herbstgeneration folgen, deren Sprößlinge sich geschlechtlich vermehren und Dauereier bilden. Doch treten gerade bei dieser Form mannigfache Unregelmäßigkeiten auf, so daß der Generationswechsel noch wenig ausgeprägt erscheint.

Während in diesen Fällen eine vollständige Aufteilung des Stammtieres in eine Anzahl von Individuen erfolgt und diese im wesentlichen gleichartig sind, gliedern sich bei zahlreichen Formen von dem Ausgangsindividuum Teilstücke von andersartiger Beschaffenheit ab, es tritt also ein Gegensatz zwischen Stammtier und Sprößlingen (Zoiden) hervor und der Generationswechsel erfährt dadurch auch nach der morphologischen Seite hin eine stärkere Betonung. Dies ist der Fall bei manchen Anneliden (*Autolytus*, *Myrianida*, *Naïs*) und in ähnlicher Weise bei verschiedenen Cölenteraten, besonders bei *Gonactinia*, *Fungia* und den Scyphozoen, bei welchen letzteren bereits auch die engen Beziehungen zwischen festsitzender Lebensweise, Stockbildung und Generationswechsel in deutlicher Weise hervortreten. Auch die meisten Cestoden könnten hier herangezogen werden, wofern man die Bandwurmkette als einen Tierstock betrachten und also von einer Polyzootie der Cestoden reden will.

Sehr mannigfaltige Formen weist der mit Querteilungsprozessen verbundene Generationswechsel innerhalb der Gruppe der Tunicaten auf. Einerseits zeigen manche Ascidien (*Amaroecium*) noch ähnliche Verhältnisse, wie die Rhabdocölen, indem nach Querteilung des mütterlichen Postabdomens (Fig. 39) sowohl das Stammtier als die Sprößlinge oder Blastozoiden zur geschlechtlichen Vermehrung schreiten. Auf der anderen Seite macht sich bei *Pyrosoma*, *Salpa* und *Doliolum* zwischen dem aus dem Ei hervorgegangenen Individuum (Oozoid oder Amme) und den von ihm erzeugten Blastozoiden eine stärkere Differenzierung bemerklich, sei es, daß ersteres schon nach der Ausbildung der ersten vier Blastozoiden der Degeneration anheimfällt (*Pyrosoma*, Fig. 41) oder als freilebende Solitärform in einen schärferen morphologischen und physiologischen Gegensatz zu den von ihm erzeugten, kettenartig verbundenen Geschlechtstieren tritt (*Salpa*, *Doliolum*).

2) Auch beim Wechsel zwischen Knospung und geschlechtlicher Fortpflanzung treten sehr verschiedene Typen, insbesondere auch verschiedene Abstufungen hinsichtlich des morphologischen und biologischen Gegensatzes zwischen den geschlechtlichen und ungeschlechtlichen Generationen hervor.

Den Ausgangspunkt für die Entwicklung manches dieser Typen mögen Verhältnisse, wie sie bei *Hydra* vorliegen, geliefert haben. Hier ist dasselbe Individuum zu geschlechtlicher und vegetativer Vermehrung fähig, und zwar folgt im allgemeinen auf eine Periode der Knospung die Bildung befruchtungsbedürftiger Dauereier. Es kann aber unter Umständen auf die Eiproduktion wieder die Rückkehr desselben Individuums zu vegetativer Vermehrung erfolgen, in ähnlicher Weise, wie dies bei manchen Rhabdocölen beobachtet wurde.

Eine allmähliche Trennung der Generationen findet man auch bei den sozialen Ascidien (*Clavellina*) angebahnt, insofern hier das Oozoid die Fähigkeit zur geschlechtlichen Vermehrung besitzt und außerdem an seinem Stolo die Blastozoiden entwickelt, die ihrerseits einen rein geschlechtlichen Charakter aufweisen. Ein ähnliches Ver-

hältnis liegt bei einigen Cestoden (*Taenia coenurus* und *echinococcus*) vor, wofern man den zuerst an der Blase entwickelten „Primärskolex“ mit dem Oozoid, die sekundären, in seiner Umgebung hervorknospenden Scolices mit den Blastozoiden vergleicht und im übrigen die Entwicklung des Kettenwurmes aus dem Ei und dem Blasenwurm (im Sinne einer „Monozootie“) als die zur Geschlechtsreife führende Ontogenese eines Einzeltieres betrachtet.

Bei anderen Formen kommt eine morphologische und biologische Differenzierung der Generationen hinzu, so daß die vegetativ sich vermehrende Ammengeneration immer schärfer von der Geschlechtsgeneration unterschieden wird. Das ist bei den Syllideen der Fall, ferner bei einigen Ascidien (*Botryllus*, *Distaplia*), bei welchen das Oozoid nach der Produktion der ersten Blastozoiden eine Rückbildung erfährt, und endlich bei solchen Bryozoen, bei welchen am „sterilen“ Individuum die „fertilen“ Geschlechtsknospen, bzw. modifizierte, zur Aufnahme und Entwicklung der Eizellen bestimmte Individuen (Ovicellen) durch Knospung ihre Entstehung nehmen.

Besonders scharf ist dann der metagenetische Generationswechsel bei denjenigen Hydroidpolypen ausgebildet, bei welchen sich die durch Knospung entstehenden Geschlechtsindividuen als freischwimmende Medusen vom Stocke loslösen, wobei dem Gegensatz zwischen fest-sitzender und freischwimmender Lebensweise ein weitgehender Dimorphismus der Generationen entspricht.

Neben dieser stark ausgeprägten Form des Generationswechsels treten allerdings gerade bei den Hydroidpolypen auch Erscheinungen auf, die auf eine sekundäre Rückbildung des Generationswechsels zurückgeführt werden können. In vielen Fällen kommt es nämlich nicht zur Loslösung von Geschlechtstieren, vielmehr bleibt die Entwicklung auf der Organisationsstufe des polymorphen Tierstockes stehen, und es lassen sich manche Gründe für die Annahme anführen, daß in diesen Fällen die als Träger der Geschlechtsprodukte dienenden Personen (die „medusoiden“ Gonophoren oder Gonozoiden von *Pennaria*, *Tubularia* u. a.) zurückgebildete, sessil gewordene Medusen darstellen. In anderen Fällen spricht allerdings Vieles dafür, daß die Umwandlung der Polypen in sessile Geschlechtspersonen im Laufe der stammesgeschichtlichen Entwicklung in direkt-progressiver Weise und nicht auf dem Umweg über freischwimmende und sessil gewordene Medusen stattgefunden hat (Sporosacs oder Sporophoren von *Cordylophora* u. a.).

Rückbildungsprozesse der ersteren Art haben vermutlich auch bei den Siphonophoren zur Einziehung der Geschlechtsgeneration in den freischwimmenden Tierstock geführt. Eine andere Frage ist es, inwieweit auch die medusenähnlichen Einzeltiere, welche in Gestalt der Luftflaschen und Schwimmglocken eine von der geschlechtlichen Funktion vollkommen abweichende Aufgabe erfüllen, unter diesen Gesichtspunkt fallen.

d) Zurückverlegung der Keimstätten.

Sowohl in der ersten als in der zweiten Hauptgruppe von metagenetischen Formen kehrt die Erscheinung wieder, daß die Geschlechtszellen gar nicht in den die Geschlechtsgeneration darstellenden In-

dividuen zur Anlage und ersten Entwicklung kommen, sondern in Teilen des Tierstockes, welche einer der früheren, ungeschlechtlich sich vermehrenden Generationen zuzurechnen sind, und daß sie erst nachträglich in die Geschlechtsgeneration verlagert werden. So kann bei den Hydroidpolypen eine Einwanderung der Geschlechtszellen aus anderen Teilen des Stockes in die Gonophoren beobachtet werden (Fig. 55) und dieser Vorgang läßt sich am besten in der Weise

deuten, daß hier im Laufe der Stammesgeschichte eine Zurückverschiebung der Keimstätte vom Ektoderm des Magenstiels der Medusen in deren Stiel oder sogar in einzelne Zweige des Stockes stattgefunden hat.

In ähnlicher Weise entstehen bei manchen Bryozoen, Ascidien (Botrylliden) und Salpen die Keimzellen zunächst in ungeschlechtlichen Individuen, um von hier aus den ihrer weiteren Ausbildung dienenden Geschlechtsindividuen übermittelt zu werden.

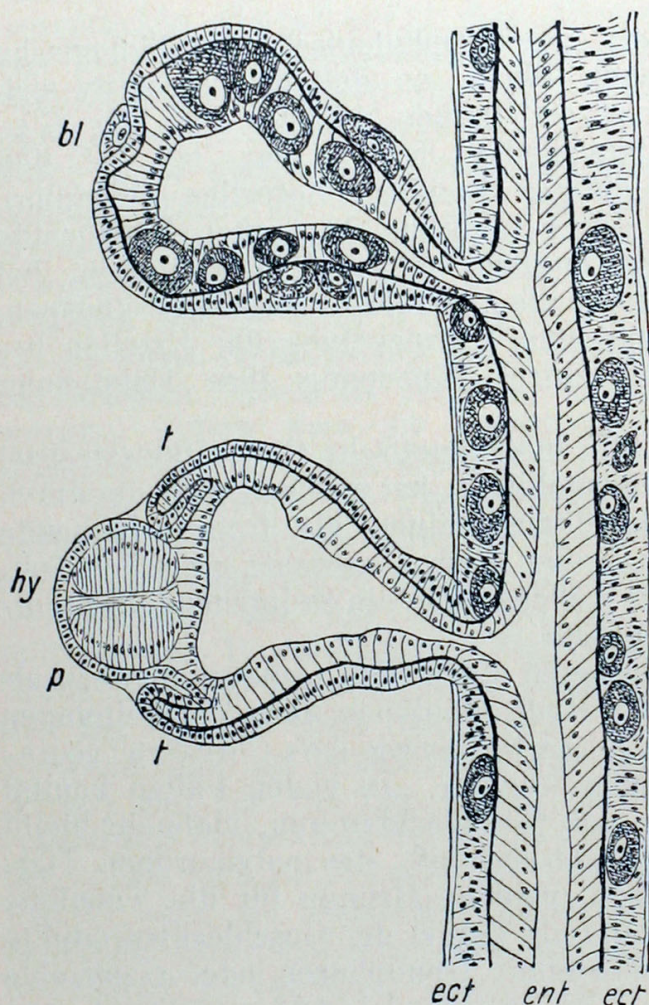


Fig. 55. Wanderung der Keimzellen bei **Eudendrium racemosum**. Nach WEISMANN aus KORSCHOLT und HEIDER. Im Ektoderm (*ect*) des Stiels und im Entoderm (*ent*) des Blastostyls (*bl*) zahlreiche Keimzellen. *hy* Hydranthenknospe, *p* Proboscis, *t* Tentakelanlage.

e) Stammesgeschichtliche Zusammenhänge der verschiedenen Vermehrungsarten.

Die vorstehende Uebersicht zeigt die außerordentliche Mannigfaltigkeit, welche besonders die vegetative Vermehrung und der Generationswechsel bei den Metazoen angenommen hat. Es ist nicht einmal innerhalb kleinerer Gruppen immer möglich, die verschiedenen Typen miteinander in einen direkten Zusammenhang zu bringen und unsere, vom Boden der phylogenetischen Betrachtung aus gebildeten Kategorien, Schemata und Reihen versagen vielfach, wenn man sämtliche bei Cölenteraten, Würmern, Bryozoen und Tunicaten vorkommenden Verhältnisse ihnen einzuordnen bemüht ist. Mit dem vorläufigen Charakter vieler stammesgeschichtlicher Kategorien hängt es auch zusammen, wenn bezüglich vieler Fragen zwei scheinbar unversöhnliche Anschauungen einander gegenüberstehen und wenn beide imstande sind, gewichtige Gründe zu ihren Gunsten heranzuziehen, wenn z. B. trotz sorgfältigster Untersuchungen und eingehendster

Diskussion immer noch keine Einigkeit darüber besteht, ob die medusoiden Knospen der Hydroidpolypen regressive oder progressive Stadien darstellen oder ob die Bandwurmketten monozootischer oder polyzootischer Natur sind.

Bei Betrachtungen dieser Art sind natürlich auch die Beziehungen morphogenetischer und physiologischer Art zu berücksichtigen, welche die verschiedenen Typen der vegetativen Vermehrung zu einigen Erscheinungen und Vorgängen anderer Art zeigen, welche allerdings (abgesehen von den vollständigen Doppelbildungen) mit einer Vermehrung der Individuenzahl nichts zu tun haben, wohl aber vielfach mit einer Vermehrung oder wenigstens mit einer Neubildung von Organen verbunden sind und daher als partielle Vermehrungsprozesse zusammengefaßt werden können.

So zeigt die Längsteilung mit der abnormen Entstehung der Doppelbildungen und Organspaltungen (Entstehung identischer Zwillinge durch Spaltung des Keimes, Polydaktylie usw.) gewisse Berührungspunkte, während die Querteilung mit der Metamerenbildung eine große Aenlichkeit aufweist. Insbesondere läßt die Strobilation deutliche Anklänge an die interkalare Metamerenbildung der Anneliden, die von einer vor dem Analsegment gelegenen Wachstumszone ausgeht, erkennen. Die multiplen Knospungsprozesse erinnern an die Proliferation von Organen (Polypharyngie bei Turbellarien, multipler Geschlechtsapparat der Ligula, paarige Geschlechtsorgane bei *Taenia* [*Dipylidium*] *cucumerina*). Ganz besonders eng und wahrscheinlich nicht bloß äußerlicher Art sind aber die Beziehungen, welche die vegetative Vermehrung zu den Erscheinungen der Regeneration verloren gegangener Körperteile und der Autotomie, d. h. der Fähigkeit, einzelne Körperteile abzuwerfen und durch neue zu ersetzen, aufweist, wie denn auch alle vegetativen Vermehrungsprozesse mit Regenerationen verbunden sind und andererseits vielfach Vorgänge angetroffen werden, von denen es zweifelhaft ist, ob spontane Vermehrungsprozesse oder durch äußere Eingriffe hervorgerufene Abschnürungs- und Regenerationserscheinungen vorliegen.

Bei der phylogenetischen Betrachtung der vegetativen Vermehrungsweisen kommt schließlich auch die Frage in Betracht, welche Beziehungen zwischen ihnen und der amphigonen und primär-monocytogenen Fortpflanzung bestehen, ob beispielsweise der bei einzelnen Medusen (Margeliden) gemachten Beobachtung eine allgemeine Bedeutung zukommt, wonach die Knospen aus einzelnen Zellen des Ektoderms ihre Entstehung nehmen und also demselben Mutterboden wie die Geschlechtszellen entstammen und ferner, ob die inneren Brutknospen der Schwämme und Bryozoen wirklich, wie dies oben geschehen ist, von äußeren Brutknospen abzuleiten und nicht vielmehr mit der primär-monocytogenen Fortpflanzung in Verbindung zu bringen sind.

Da bezüglich aller dieser Punkte die paläontologischen Urkunden versagen, so wird noch mehr als bisher versucht werden müssen, auf experimentellem Wege den Zusammenhängen zwischen den einzelnen Formen der Fortpflanzung nachzugehen. Insbesondere wird man auf diese Weise und unter Berücksichtigung teratologischer Vorkommnisse zunächst zu einer genaueren Kenntnis der elementaren Entwicklungsfaktoren, d. h. der bei der Zellteilung,

bei Wachstum, Formbildung und Differenzierung wirksamen chemisch-physiologischen und chemisch-physikalischen Verhältnisse und Vorgänge zu gelangen haben, soweit diese bei der Zeugung, besonders auch bei den Prozessen der Querteilung, Knospung, Brutknospenbildung usw., sowie bei den oben aufgeführten verwandten Erscheinungen in verschiedenen Kombinationen zusammentreten. Dann werden wohl auch manche auf der Grenze zwischen Fortpflanzungsgeschichte und Morphologie stehende Fragen, wie z. B. die nach dem gegenseitigen Verhältnisse der typischen Bandwurmketten, der Liguliden und Dipylidien, oder die nach dem gegenseitigen Zusammenhang der verschiedenen Gonophorenarten der Hydrozoen oder der einzelnen Personen der Siphonophorenstöcke, von neuen Seiten her in Angriff genommen werden können, auch wenn man darauf verzichten muß, die wirklichen stammesgeschichtlichen Beziehungen endgültig aufzudecken.

f) Biologische Bedeutung der verschiedenen Vermehrungsarten.

Auf etwas festerem Boden stehen wir bei der Behandlung der Frage, welche Bedeutung im einzelnen den verschiedenen Vermehrungsarten zukommt und wodurch ihr Auftreten bei bestimmten Phasen der Lebensgeschichte bedingt ist.

Was zunächst die Bedeutung der amphigonen Fortpflanzung anbelangt, so weisen schon gewisse Verhältnisse bei den Protozoen darauf hin, daß die Konjugation, also der für die Amphigonie der Einzelligen charakteristische Prozeß, jedenfalls nichts Direktes mit der Vermehrung der Individuenzahl zu tun hat, wie denn auch als unmittelbare Folge der Konjugation die Individuenzahl in der Regel sogar vermindert wird. Auch gegen die Annahme, daß die Konjugation indirekt auf die Vermehrung einwirkt, indem sie einen Verjüngungsprozeß darstellt, durch welchen das durch zahlreiche aufeinanderfolgende Teilungsakte erschöpfte Protoplasma zu neuer Wachstums- und Vermehrungstätigkeit angeregt wird, sprechen manche Tatsachen, so vor allem der lange Ruhezustand mancher Zygoten, die Erscheinung der Autogamie (S. 62), sowie die Beobachtung, daß Infusorien (*Paramecium*) sich mindestens drei Jahre hindurch auf rein agamogenem Wege vermehren können. Die Verbindung der Konjugation mit den cytogenen Vermehrungsakten und damit die Einrichtung der amphigonen Fortpflanzung muß daher noch eine andere Bedeutung haben.

Aehnlich liegen die Verhältnisse bei den Vielzelligen. Zwar scheint auch hier der Befruchtungsakt, indem er offenbar die Eientwicklung auslöst, in engster Beziehung zu den Vermehrungsvorgängen zu stehen, insofern allerdings nicht die Produktion der Fortpflanzungszellen, aber doch die zweite Phase des Vermehrungsprozesses, nämlich die Entwicklung des Eies zum neuen Individuum, von ihm abhängig zu sein scheint. Der Eindruck, daß durch den Befruchtungsakt das Ei zu neuem Leben erweckt wird, hat denn auch zur Aufstellung der älteren „Belebungstheorien“ geführt, an welche später die oben erwähnte Verjüngungslehre angeknüpft hat. Indessen zeigen manche Erscheinungen, vor allem das Vorkommen rein parthenogener Organismen (S. 78), daß auch auf dem Gebiete der Vielzelligen die Vermehrung nicht an den Eintritt der Befruchtung geknüpft zu

sein braucht, daß sie vielmehr unter Umständen auch ohne die regelmäßige Wiederkehr von Befruchtungsakten sich in normaler Weise abspielen kann. Befruchtung und Vermehrung stehen also auch bei den Vielzelligen offenbar nicht in dem einfachen Verhältnisse von Ursache und Wirkung zueinander, vielmehr ergeben sich Zusammenhänge anderer Art.

Die Vererbungserscheinungen zeigen nun, daß bei den Nachkommen die Eigenschaften der Eltern und der früheren Vorfahren in verschiedener Weise miteinander verbunden sein können. Offenbar ist dies als eine Wirkung der Befruchtung aufzufassen, insofern ja nur durch diesen Akt die väterlichen Anlagen in den Keim eingeführt werden können und damit eine Amphimixis, d. h. eine Vereinigung väterlicher und mütterlicher Anlagen oder Vererbungstendenzen, ermöglicht wird. Die Beobachtung lehrt nun weiter, daß bei der Befruchtung eine wirkliche Substanzverbindung und nicht etwa bloß eine Uebertragung besonderer Energieformen von der Samenzelle auf das Ei stattfindet. Da ferner jede der Fortpflanzungszellen aus verschiedenen Substanzen zusammengesetzt ist und auch hier die Annahme einer Arbeitsteilung naheliegt, so ist es wahrscheinlich, daß ganz bestimmte Substanzen der väterlichen und mütterlichen Fortpflanzungszellen die Träger der Anlagen, also die Vererbungssubstanz, das Idioplasma oder Keimplasma, darstellen.

In erster Linie gehören wohl dazu diejenigen Substanzen des Zellkerns, welche bei der Kernteilung in die Bildung der Kernschleifen oder Chromosomen (S. 78) eingehen, mag es sich bei diesen Substanzen um die im „ruhenden“ Kern auftretenden, färbbaren Chromatinkörnchen (Chromatinerhaltungshypothese) oder um die weniger färbbaren, alveolären Grundsubstanzen des Kerns, das Achromatin (Achromatinerhaltungshypothese) handeln. Vielleicht ist aber auch der Zelleib bei der Uebertragung bestimmter erblicher Eigenschaften direkt beteiligt, sei es das Cytoplasma als Ganzes, sei es die als organbildende Substanzen, Mitochondrien usw. bezeichneten, körnchen- oder fädchenartigen Differenzierungen, die sich vielfach schon in den Fortpflanzungszellen erkennen lassen und bei der Teilung des Eies allen Embryonalzellen oder nur bestimmten Organanlagen zugeteilt werden.

Daß nun die Befruchtung und damit die Amphimixis bei den Vielzelligen gerade mit den Vermehrungsprozessen so eng verbunden ist, hat offenbar den Zweck, sie mit periodisch sich wiederholenden, von den Lebensbedingungen verhältnismäßig unabhängigen Vorgängen zu verknüpfen und damit auch ihre periodische Wiederkehr sicherzustellen. Die Befruchtung ist ferner deshalb gleich in den Beginn des Vermehrungsaktes eingeschaltet, weil sich hier, im einzelligen Stadium des Keimes, die Möglichkeit einer Substanzverteilung am einfachsten und ihre Wirkung am ausgiebigsten gestaltet.

Im besonderen findet nun jene Sicherstellung des periodischen Eintrittes der Amphimixis dadurch statt, daß die Eier der Vielzelligen im allgemeinen befruchtungsbedürftig, d. h. so eingerichtet sind, daß sie sich ohne Befruchtung nicht zu entwickeln vermögen. Das Ei ist dabei offenbar mit Hemmungsrichtungen versehen, deren Beseitigung als eine Nebenaufgabe dem Befruchtungsakte zugewiesen ist. Zum Teil liegt die Hemmung wohl darin, daß

nach Ablauf oder während der Reifungsteilungen des Eies (Fig. 15) der Teilungsapparat des letzteren, das Centrosoma oder genauer Ovozentrion, in irgendeiner Weise außer Aktivität gesetzt wird, und die Beseitigung dieser Hemmung würde dann dadurch erfolgen, daß bei der Befruchtung durch die Samenzelle ein neuer Teilungsapparat, nämlich das im Mittelstück gelegene Spermocentrion (Fig. 16, E, *c.a.*, Fig. 26 A, *s*), eingeführt wird, welches sich dann in die beiden, bei der ersten Furchungsteilung des Eies wirksamen Centrosomen zerlegt. Doch weisen verschiedene Beobachtungen, insbesondere auch die Befunde an Eiern, die durch künstliche Agenzien chemischer, mechanischer oder thermischer Art zur Entwicklung gebracht werden (künstliche Parthenogenese), darauf hin, daß es sich bei der Beseitigung der Hemmungen und der Auslösung der Eientwicklung nicht einfach um die Ausstattung des Eies mit einem neuen Mechanismus handelt, sondern daß chemisch-physikalische und chemisch-physiologische Prozesse verschiedener Art (Spaltungsvorgänge, Gerinnungen und Verflüssigungen, Kontraktionen) mit in Frage kommen.

Wenn also die Verbindung der Befruchtung mit Vermehrungsprozessen und damit die Einrichtung der amphigonen Fortpflanzung bei den Vielzelligen in erster Linie die regelmäßige Wiederkehr amphimiktischer Prozesse zum Zweck hat, so erhebt sich die Frage nach der biologischen Bedeutung der letzteren selber. Die Bedeutung der Amphimixis könnte an und für sich dreifacher Art sein: entweder soll durch die Amphimixis ein Ausgleich von Störungen, eine Unterdrückung ungünstiger Variationen durch „Zufuhr frischen Blutes“, im ganzen also eine Nivellierung der Unterschiede und die Erhaltung der Artkonstanz bewirkt werden; zweitens könnten günstige Anlagen durch Summierung verstärkt werden; und schließlich wäre es möglich, daß durch Verbindung verschiedener Anlagen neue Kombinationen gebildet und damit den Naturzüchtungsprozessen neue Variationen dargeboten werden. Tatsächlich dürfte jede dieser Möglichkeiten unter bestimmten Verhältnissen in Betracht kommen, doch fehlt es, zumal da die bei domestizierten Formen gemachten Erfahrungen nicht ohne weiteres auf die freilebenden übertragen werden können, noch an bestimmten Anhaltspunkten für die Beantwortung der Frage, welches die wichtigste Bedeutung der Amphimixis in der freien Natur ist.

Die bei den Vielzelligen gewonnenen Anschauungen können wohl auch auf die Einzelligen Anwendung finden, und man wird demnach zusammenfassend sagen können, daß sowohl bei Einzelligen, wie bei Vielzelligen die Verbindung der Zellpaarungsprozesse mit der cytogenen Vermehrung und damit die Einrichtung der amphigonen Fortpflanzung im wesentlichen die regelmäßige Wiederkehr der amphimiktischen Prozesse ermöglichen soll.

Während nun bei zahlreichen Einzelligen die amphigone Fortpflanzung zwischen den monogenen Vermehrungsprozessen mehr als ein periodisch wiederkehrender Zwischenakt erscheint und z. B. bei den Infusorien der Konjugationsakt selbst von den vorhergehenden und nachfolgenden Vermehrungsphasen durch eingeschobene rudimentäre Teilungsvorgänge in schärferer Weise abgetrennt sein kann, ist bei den höheren Vielzelligen Befruchtung und cytogene Fortpflanzung

in nahezu konstanter Weise in eine enge Verbindung getreten, so daß die geschlechtliche Fortpflanzung geradezu als die normale, bei den Mollusken und Wirbeltieren als die ausschließliche Vermehrungsweise und gewissermaßen als die Kulmination aller Lebensprozesse erscheint.

Der amphigonen Vermehrung kommt nach dem obigen offenbar eine fundamentale biologische Bedeutung zu, wie schon aus ihrer fast allgemeinen Verbreitung zu erschließen ist. Im Gegensatz dazu besitzen die verschiedenen Typen der ungeschlechtlichen Vermehrung eine je nach der Tiergruppe und je nach den Lebensverhältnissen vielfach wechselnde Bedeutung. Unter den cytogenen Vermehrungsformen ist, wie bereits angedeutet, die Agamogonie die gewöhnliche Fortpflanzungsweise der Einzelligen. Bei den vielzelligen Tieren kommt die primäre Monocytogonie nicht vor, dagegen hat die sekundäre Monocytogonie bei verschiedenen Tiergruppen eine wichtige Bedeutung gewonnen.

Die Bedeutung speziell der Parthenogenesis liegt in erster Linie in der Erhöhung der Fruchtbarkeit. Denn wenn alle Individuen Weibchen sind, so wird schon in der ersten Generation die Menge der in einer Tierkolonie produzierten Eier verdoppelt, und da die Vermehrung in geometrischer Progression wächst, so tritt der Vorteil der parthenogenetischen Vermehrung gegenüber der geschlechtlichen in den folgenden Generationen immer deutlicher hervor. Parthenogenesis findet sich daher vorzugsweise bei tümpelbewohnenden Süßwasser-Crustaceen und -Rotatorien, deren Wohnorte im Sommer leicht austrocknen und im Winter zufrieren und welche die nur kurze Zeit andauernden günstigen Lebensbedingungen möglichst zur Vermehrung der Individuenzahl auszunützen suchen. Bei verschiedenen Insekten (Gallwespen, Blattläuse) kommen ähnliche Verhältnisse in Betracht, während bei den staatenbildenden Formen verwickeltere Zusammenhänge zwischen Jahreszeitenwechsel, Polymorphismus und Parthenogenesis bestehen. Auch bei den Trematoden hängt offenbar die pädogenetische Vermehrung mit den günstigen Lebensbedingungen der parasitischen Jugendformen zusammen.

Wenn einmal in einer Tiergruppe die Tendenz zu parthenogenetischer Vermehrung besteht, so kann sie unter sehr verschiedenen Lebensverhältnissen zur Ausbildung und sogar zu extremer Entwicklung gelangen, wie denn z. B. manche in großen Alpenseen lebende Cladoceren die Amphigonie anscheinend vollkommen aufgegeben haben und selbst manche marine Cladoceren-Formen die parthenogenetische Vermehrung in Form der Pädogenesis aufweisen.

Sehr verschieden ist auch die Bedeutung der einzelnen Formen der vegetativen Vermehrung. Während bei der Querteilung mancher Süßwasser-Turbellarien und -Anneliden ähnliche teleologische Beziehungen zwischen den Lebensbedingungen und der Einrichtung der ungeschlechtlichen Vermehrung bestehen mögen, wie bei den parthenogenetisch sich fortpflanzenden Crustaceen — für die Turbellarien lassen sich sehr enge kausale Beziehungen nachweisen —, kommt der Knospung namentlich bei festsitzenden Formen eine vielseitigere, nicht bloß auf die einfache Vergrößerung der Vermehrungsziffer bezügliche Bedeutung zu. Für festsitzende Tiere ist es im Interesse des Schutzes und der Ernährung von Vorteil, individuenreiche Stöcke zu bilden. Hierbei stellt aber die Knospung die

geeignetste Vermehrungsart dar, weil sie, ähnlich der Sprossung bei höheren Pflanzen, die gleichmäßige Verteilung der Personen in zwei oder drei Richtungen des Raumes ermöglicht. Hat sich aus diesen Gründen in einer Tiergruppe die Fähigkeit zur Knospenbildung bei den feststehenden Formen eingebürgert, so kann sie auch bei nachträglichem Uebergang zu freischwimmender Lebensweise erhalten bleiben und eine Weiterbildung nach verschiedenen Richtungen hin erfahren (Siphonophoren, Salpen, Pyrosomen).

Teilungs- und Knospungsvorgänge in wechselnder Form können schließlich noch unter ganz speziellen Lebensbedingungen besondere Vorteile gewähren. Es sei nur an die Tänien mit proliferierenden Scolices (S. 85), an den Palolowurm (S. 82) und an die parasitische *Syllis ramosa* (S. 85) erinnert.

Aus der verschiedenen Bedeutung, welche die nichtgeschlechtlichen Vermehrungsarten für die vielzelligen Tiere besitzen, ergibt sich ohne weiteres, weshalb der Generationswechsel in den einzelnen Gruppen eine so verschiedenartige Form angenommen hat und weshalb er bald als ein mehr unregelmäßiger Wechsel verschiedener Fortpflanzungsweisen, bald als eine streng eingehaltene, rhythmisch sich abspielende Folge hoch spezialisierter Lebensprozesse erscheint.

Literaturverzeichnis.

I. Einleitung. Uebersicht der Vermehrungsarten.

- Haeckel, E.**, *Generelle Morphologie der Organismen*. Berlin 1894.
Hartmann, M., *Die Fortpflanzungsweisen der Organismen, Neubenennung und Einteilung derselben usw.* Biol. Centralbl., Bd. 24, 1904.
Hertwig, O., *Allgemeine Biologie*. 3. Aufl., Jena 1909.
Hertwig, R., *Mit welchem Recht unterscheidet man geschlechtliche und ungeschlechtliche Fortpflanzung?* Sitz.-Ber. Ges. Morph. Phys., München 1899.
Lang, A., *Lehrbuch der vergleichenden Anatomie der wirbellosen Tiere*. 2. Aufl., 2. Lief.: Protozoa, Jena 1901.
Leuckart, R., Artikel Zeugung. *Wagners Handwörterbuch d. Physiol.*, Bd. 4, Braunschweig 1853.
Weismann, A., Aufsätze über Vererbung. Jena 1892.
 — *Das Keimplasma. Eine Theorie der Vererbung*. Jena 1892.

II. A. Fortpflanzung der Einzelligen.

- Bütschli, O.**, *Protozoa*. Bronns Klassen u. Ordn., Leipzig 1880—1889.
Borgert, A., *Untersuchungen über die Fortpflanzung der tripylen Radiolarien usw.* I. Zool. Jahrb. (An.), Bd. 14, 1900.
 — *Dasselbe*, II. Arch. f. Prot., Bd. 14, 1909.
Brandt, K., *Die koloniebildenden Radiolarien (Sphärozoeen) des Golfs von Neapel usw.* Fauna u. Flora Neapels, Bd. 13, Berlin 1890.
Calkins, G. St., *The protozoan life cycle*. Biol. Bull., Vol. 11, 1906.
 — Protozoology. New York 1909.
 — and **Cull, S. Wh.**, *The conjugation of Paramaecium aur. (caud.)*. Arch. Prot., Bd. 10, 1907.
Caullery, M., et **Mesnil, F.**, *Recherches sur les Orthonectides*. Arch. Anat. micr., T. 4, 1901.
Délage, Y., et **Hérouard, E.**, *Traité de zoologie concrète*, T. 1, Paris 1896.
Distaso, A., *Sui processi vegetativi e sull'incistidamento di Actinophrys sol.* Arch. Prot., Bd. 12, 1904.

- Doflein, F.**, Lehrbuch der Protozoenkunde. 3. Aufl., Jena 1911.
- Enriques, P.**, Die Konjugation und sexuelle Differenzierung der Infusorien. Arch. Prot., Bd. 12, 1908.
- Haecker, V.**, Ueber vorbereitende Teilungsvorgänge bei Tieren und Pflanzen. Verh. D. Zool. Ges., 1898.
- Tiefseeradiolarien. Ergebn. d. Dtsch. Tiefseexp., Bd. 14, 1908.
- Allgemeine Vererbungslehre. Braunschweig 1911.
- Hamburger, Cl.**, Die Konjugation von *Paramaecium bursaria*. Arch. Prot., Bd. 4, 1904.
- Hartmann, M.**, 1904, siehe unter I.
- Untersuchungen über den Generationswechsel der Dicyemiden. Mém. Cl. Sci. Ac. R. Belg., N. S., T. 1, 1907.
- und **Hammer, E.**, Untersuchungen über die Fortpflanzung von Radiolarien. Sitz.-Ber. d. Ges. Naturf. Freunde, Berlin 1909.
- Hertwig, R.**, Ueber die Konjugation der Infusorien. Abh. d. Bayer. Akad. d. Wiss., 2. Kl., Bd. 17, 1889.
- Ueber Befruchtung und Konjugation. Verh. D. Zool. Ges. Berlin, 1892.
- Ueber Kernteilung, Richtungskörperbildung und Befruchtung bei *Actinosphaerium*. Ebenda, Bd. 19, 1898.
- 1899, siehe unter I.
- Die Protozoen und die Zelltheorie. Arch. Prot., Bd. 1, 1902.
- Keysseltz, G.**, Die Entwicklung von *Myxobolus Pfeifferi* I—II. Ebenda, Bd. 11, 1908.
- Studien über Protozoen. Ebenda (*Actinophrys*).
- Jennings, H. S.**, Heredity, variation and evolution in Protozoa. I. Journ. exp. Zool., Vol. 5. II. Proc. Am. Phil. Soc., 1908.
- What conditions induce conjugation in *Paramaecium*. J. exp. Zool., Vol. 9, 1910.
- Klein, L.**, Vergleichende Untersuchungen über Morphologie und Biologie der Fortpflanzung bei der Gattung *Volvox*. Ber. d. Naturf. Ges. Freiburg, Bd. 5, 1890.
- Lang, A.**, 1901, siehe unter I.
- Léger, L.**, La reproduction sexuée chez les *Stylorhynchus*. Arch. Prot., Bd. 3, 1904.
- et **Duboscq, O.**, L'évolution schizogonique de *Aggregata (Eucoccidium) eberthi*. Ibid., Bd. 12, 1908.
- Lühe, M.**, Bau und Entwicklung der Gregarinen. I. Ebenda, Bd. 4, 1904.
- Maupas, M.**, Le rajeunissement karyogamique chez les Ciliés. Arch. Zool. Exp., 2. Sér., T. 7, 1889.
- Oltmanns, Fr.**, Morphologie und Biologie der Algen. Jena 1905.
- Prandtl, G.**, Die Konjugation von *Didinium nasutum*. Arch. Prot., Bd. 7, 1906.
- von Prowazek, E.**, Einführung in die Physiologie der Einzelligen. Leipzig u. Berlin 1910.
- Reichenow, E.**, Untersuchungen an *Haematococcus pluvialis*. Arb. aus d. Kais. Reichsgesundheitsamt, Bd. 33, 1909.
- Rhumbler, L.**, Die Foraminiferen (*Thalamophoren*) der Planktonexpedition. I. Teil, Erg. Pl.-Exp., Bd. 3, L. c., Kiel u. Leipzig 1909.
- Schaudinn, F.**, Untersuchungen über den Generationswechsel von *Trichosphaerium sieboldi*. Anhang z. d. Abh. K. Pr. Akad. d. Wiss. Berlin, 1899.
- Untersuchungen über den Generationswechsel bei Coccidien. Zool. Jahrb. (An.), Bd. 13, 1900.
- Untersuchungen über die Fortpflanzung einiger Rhizopoden. Arb. aus d. Kais. Reichsgesundheitsamt, Bd. 19, 1903.
- Generationswechsel und Wirtswechsel bei *Trypanosoma* und *Spirochaete*. Ebenda, Bd. 20, 1904.
- Neuere Forschungen über die Befruchtung bei Protozoen. Verh. d. Zool. Ges., 1905.
- Arbeiten. Herausgeg. mit Unterstützung d. Hamburger wissenschaftl. Stiftung. Hamburg 1911.
- Siedlecki, M.**, Étude cytologique et cycle évolutif d'*Adelea ovata* Schneider. Ann. Inst. Past., T. 13, 1899.
- Winter, F.**, Zur Kenntnis der *Thalamophoren*. I. Untersuchungen über *Peneroplis pertusus*. Arch. Prot., Bd. 10, 1907.

II. B. a—d. Geschlechtszellen, Begattung, Befruchtung.

- Amma, B.**, Ueber die Differenzierung der Keimbahnzellen bei den Copepoden. Arch. f. Zellf., Bd. 6, 1911.
- Ballowitz, E.**, Untersuchungen über die Struktur der Spermatozoen. Arch. f. mikr. Anat., Bd. 36, 1890.
- Boveri, Th.**, Ref.: Befruchtung. Erg. d. Anat. u. Entw., Bd. 1, 1892.

- Boveri, Th.**, Die Entwicklung von *Ascaris megalcephala* mit besonderer Rücksicht auf die Kernverhältnisse. Festschr. f. Kupffer, Jena 1899.
- Zellenstudien II. Jena 1888.
- Zellenstudien IV. Ueber die Natur der Centrosomen. Jena 1901.
- Zellenstudien VII. Jena 1907.
- Buchner, P.**, Die Schicksale des Keimplasmas der Sagitten in Reifung, Befruchtung usw. Festschr. f. R. Hertwig, 1910.
- Bütschli, O.**, Untersuchungen über die ersten Entwicklungsvorgänge im befruchteten Ei von Nematoden und Schnecken. Zeitschr. f. wiss. Zool., Bd. 25, 1875.
- Calkins, N. G.**, The spermatogenesis of *Lumbricus*. Journ. Morph., Vol. 11, 1895.
- Conklin, E. G.**, Karyokinesis and Cytogenesis etc. of *Crepidula*. Journ. Ac. Philadelph. (2), Vol. 12, 1902.
- Fick, R.**, Ueber die Reifung und Befruchtung des Axolotleies. Zeitschr. f. wiss. Zool., Bd. 56, 1893.
- Flemming, W.**, Weitere Beobachtungen über die Entwicklung der Spermatozoen bei *Salam. mac.* Arch. f. mikr. Anat., Bd. 31, 1888.
- Fol, G.**, Étude sur le développement des Mollusques Ptéropodes. Arch. Zool. exp. gén., T. 4, 1875.
- Foot, K.**, Maturation and fertilization in *Allolobophora foetida*. Journ. Morph., Vol. 9, 1894.
- Francotte, P.**, Recherches sur la maturation etc. chez les Polyclades. Arch. Zool. exp. (3), T. 6, 1898.
- Giardina, A.**, Origine dell' oocyte e delle cellule nutritive nel *Dytiscus*. Intern. Mon. Anat. u. Phys., Bd. 18, 1901.
- Haecker, V.**, Die Keimbahn von *Cyclops*. Arch. mikr. Anat., Bd. 49, 1897.
- Ueber das Schicksal der elterlichen und großelterlichen Kernanteile. Jen. Zeitschr. Naturw., N. F. Bd. 30, 1902.
- Praxis und Theorie der Zellen- und Befruchtungslehre. Jena 1899.
- Hasper, M.**, Zur Entwicklung der Geschlechtsorgane von *Chironomus*. Zool. Jahrb. (An.), Bd. 31, 1911.
- Henking, G.**, Untersuchungen über die ersten Entwicklungsvorgänge in den Eiern der Insekten. I—III. Zeitschr. wiss. Zool., Bd. 49, 51 u. 54, 1890—1892.
- Hermann, F.**, Struktur und Histogenese der Spermatozoen. Ergebn. d. Anat. u. Entw., Bd. 2 u. 6, 1893 u. 1897.
- Hertwig, O.**, Beiträge zur Kenntnis der Bildung, Befruchtung und Teilung des tierischen Eies. Morph. Jahrb., Bd. 1—4, 1875—1878.
- Vergleich der Ei- und Samenbildung bei Nematoden. Arch. mikr. Anat., Bd. 36, 1890.
- Kahle, W.**, Die Pädogenese der Cecidomyiden. Zoologica, 1908, Heft 55.
- Koltzoff, N. K.**, Studien über die Gestalt der Zellen. I. Arch. mikr. Anat., Bd. 67, 1906.
- Korschelt, E.**, Ueber Kernteilung, Eireifung und Befruchtung bei *Ophryotrocha puerilis*. Zeitschr. wiss. Zool., Bd. 60, 1895.
- und **Heider, K.**, Lehrbuch der vergleichenden Entwicklungsgeschichte. Allg. Teil. Jena 1903—1910.
- von Kostanecki, K.**, und **Wierzejski, A.**, Ueber das Verhalten der achromatischen Substanzen im befruchteten Ei (*Thysa*). Arch. mikr. Anat., Bd. 47, 1896.
- von Lavalette St. George, A.**, Ueber die Genese der Samenkörper. A. m. A., Bd. 25, 27, 28 u. 30, 1885—1887.
- Zur Samen- und Eibildung beim Seidenspinner. Ebenda, Bd. 50, 1897.
- Meves, F.**, Ueber die Entwicklung der männlichen Geschlechtszellen von *Salamandra mac.* A. m. A., Bd. 48, 1894.
- Ueber Struktur und Histogenese der Samenfäden des Meerschweinchens. Ebenda, Bd. 54, 1899.
- Ueber die sogenannten wurmförmigen Samenfäden von *Paludina* usw. Anat. Anz., Bd. 19, 1901, Erg.-Heft.
- Rückert, J.**, Ueber das Selbständigbleiben der väterlichen und mütterlichen Kernsubstanz usw. Arch. mikr. Anat., Bd. 45, 1895.
- Die erste Entwicklung des Eies der Elasmobranchier. Festschr. f. Kupffer, Jena 1899.
- Sobotta, J.**, Die Befruchtung und Furchung des Eies der Hausmaus. Arch. mikr. Anat., Bd. 45, 1895.
- Toyama, K.**, On the spermatogenesis of the silk worm. Bull. Agr. Coll. Imp. Univ. Tokio, Vol. 2, 1894.
- Van Beneden, Ed.**, Recherches sur la maturation de l'œuf, la fécondation et la division cellulaire. Arch. Biol., T. 4, 1883.
- et **Neyt, A.**, Nouvelles recherches sur la fécondation et la division mitotique chez l'Asc. még. Bull. Ac. R. Belg. (3), T. 17, 1887.

- Van der Stricht, O.**, *La formation des deux globules polaires etc. chez Thysanozoon.* Arch. Biol., Vol. 15, 1898.
- Waldeyer, W.**, *Die Geschlechtszellen.* O. Hertwigs Handbuch d. Entw.-Lehre, Bd. 1, 1. Teil, Jena 1906.
- Wilson, E. B.**, *The cell in development and inheritance.* 2. Aufl., New York 1900.
- and **Matthews, A. P.**, *Maturation, fertilization and polarity in the Echinoderm egg.* Jahrb. Morph., Bd. 10, 1895.
- Ziegler, H. E.**, *Untersuchungen über die ersten Entwicklungsvorgänge der Nematoden.* Zeitschr. wiss. Zool., Bd. 60, 1895.

II. B. e. Parthenogenesis, Pädogenesis, Merogonie.

- v. Baehr, W. B.**, *Die Oogenese bei einigen viviparen Aphididen usw.* Arch. f. Zellf., Bd. 3, 1909.
- Bataillon, E.**, *Le problème de la fécondation circonscrit par l'imprégnation sans amphimixie et la parthénogénèse traumatique.* Arch. Zool. exp. (5), T. 6, 1910.
- Blochmann, F.**, *Ueber die Reifung der Eier bei Ameisen und Wespen.* Univ.-Festschr. Heidelberg, 1886.
- *Ueber die Richtungskörper bei Insekteneiern.* Biol. Centralbl., Bd. 7, u. Morph. Jahrb., Bd. 12, 1887.
- Boveri, Th.**, *Ueber die Befruchtung und Entwicklungsfähigkeit kernloser Seeigeleier.* Arch. Entw.-Mech., Bd. 2, 1895.
- *Zellenstudien VI.* Jena 1907.
- Brauer, A.**, *Zur Kenntnis der Reifung des parthenogenetisch sich entwickelnden Eies von Artemia sal.* Arch. mikr. Anat., Bd. 43, 1893.
- Cary, L. R.**, *The life history of Diplodiscus temporatus. With special ref. to the dev. of the parth. eggs.* Zool. Jahrb. (An.), Bd. 28, 1909.
- Delage, Y.**, *Études sur la mérogonie.* Arch. Zool. Exp. Gén. (3), T. 7, 1899.
- *Études exp. sur la matur. cytoplasmique et sur la parth. artificielle chez les echinoderms.* Ibid. (3), T. 9, 1901.
- *Nouvelles recherches sur la parth. expér. chez Asterias glac. — Quelques expériences et observ. sur les Astériens.* Ibid. (3), 1902.
- Godlewski, E.**, *Untersuchungen über die Bastardierung der Echiniden- und Crinoidenfamilie.* Arch. Entw.-Mech., Bd. 20, 1906.
- Hertwig, R.**, *Ueber die Entwicklung des unbefruchteten Seeigeleies.* Festschr. f. Gegenbaur, Leipzig 1896.
- Kostanecki, K.**, *Cytologische Studien an künstlich parthenogenetisch sich entwickelnden Eiern von Mactra.* Arch. mikr. Anat., Bd. 64, 1904.
- Kuttner, O.**, *Mitteilungen über marine Cladoceren.* Sitzungsber. Ges. naturf. Freunde. Berlin 1911.
- Leuckart, R.**, *Zur Kenntnis des Generationswechsels und der Parthenogenesis bei den Insekten.* Frankfurt 1858.
- *Zur Entwicklungsgeschichte des Leberegels.* Arch. Naturg., Jahrg. 48, 1882.
- Loeb, J.**, *On the artif. production of normal larvae from the unfertilized eggs of the sea urchin (Arbacia).* Am. Journ. Phys., Vol. 3, 1900.
- *The chemical character of the process of fertilization etc.* Un. Calif. Publ. Phys., Vol. 3, 1907.
- *Ueber die allgemeinen Methoden der künstlichen Parthenogenesis.* Arch. ges. Phys., Bd. 118, 1907.
- Matthews, A. B.**, *Artificial parth. produced by mech. agitation.* Am. Journ. Phys., Vol. 6, 1901.
- Morgan, T. H.**, *The action of salt-solutions etc. on the eggs of Arbacia.* Arch. Entw.-Mech., Bd. 10, 1900.
- Petrunkewitsch, A.**, *Die Richtungskörper und ihr Schicksal im befruchteten und unbefruchteten Bienenei.* Zool. Jahrb. (An.), Bd. 14, 1901.
- Schleip, W.**, *Die Richtungskörperbildung im Ei von Formica sanguinea.* Ebenda, Bd. 26, 1908.
- von Siebold, C. Th.**, *Wahre Parthenogenesis.* Leipzig 1856.
- Tichomirou, A.**, *Die künstliche Parthenogenese bei Insekten.* Arch. Anat. u. Phys., Suppl.-Bd., 1886.
- Wagner, N.**, *Ueber die viviparen Gallenmückenlarven.* Zeitschr. wiss. Zool., Bd. 15, 1865.
- Weismann, A.**, *Ueber die Zahl der Richtungskörper und ihre Bedeutung für die Vererbung.* Jena 1887.
- und **Ischikawa, C.**, *Weitere Untersuchungen zum Zahlengesetz der Richtungskörper.* Zool. Jahrb. (An.), Bd. 3, 1889.

- Wilson, E. B.**, *Exper. studies in Cytology. I. Artificial parthenogenesis in sea urchin eggs.* Arch. Entw.-Mech., Bd. 12, 1901.
Winkler, H., *Ueber Merogonie und Befruchtung.* Jahrb. wiss. Bot., Bd. 36, 1901.

II. B. f. Chromosomen, Reduktionsteilung.

(Es sind nur solche Arbeiten aufgezählt, welche Zusammenstellungen enthalten oder von stärkerem Einfluß auf den Fortgang der Forschung gewesen sind.)

- Boveri, Th.**, *Zellenstudien I.* Jen. Zeitschr., Bd. 21, 1887 (Eireife bei *Ascaris*).
 — *Zellenstudien II.* (Befruchtung bei *Ascaris*; Individualitätslehre.) Ebenda 1888.
 — *Zellenstudien III.* Ebenda, Bd. 24, 1890.
 — *Ref.: Befruchtung.* Erg. Anat. u. Entw., Bd. 1, 1892.
 — *Ergebnisse über die Konstitution der chromatischen Substanz des Zellkernes.* Jena 1904.
Della Valle, P., *L'organizzata della cromatina studiata mediante il numero dei cromosomi.* Archivio Zool., Vol. 4, 1909.
Flemming, W., *Neue Beiträge zur Kenntnis der Zelle.* Arch. mikr. Anat., Bd. 29, 1887 (heterotypischer Modus).
Grégoire, V., *Les résultats acquis sur les cinèses de maturation, I.* Cellule, T. 22, 1905.
 — *Les cinèses de maturation etc.* Ibid., T. 26, 1910.
Haecker, V., *Die heterotypische Teilung im Cyklus der generativen Zellen.* Ber. Nat. Ges. Freiburg, Bd. 6, 1892 (Scheinreduktion).
 — *Bastardierung und Geschlechtszellenbildung.* Zool. Jahrb., Suppl.-Bd. 7, 1904 (Achromatinerhaltungshypothese).
 — *Die Chromosomen als angenommene Vererbungsträger.* Erg. u. Fortschr. Zool., Bd. 1, 1907 (Zusammenstellung).
 — *Allgemeine Vererbungslehre.* Braunschweig 1911 (Zusammenstellung).
Hertwig, O., 1890, siehe unter II. B. a—d.
Korschelt, E., 1905, siehe unter II. B. a—d.
 — und **Heider, K.**, 1903—1910, siehe unter II. B. a—d.
Lubosch, W., *Ueber die Eireifung der Metazoen usw.* Erg. An. u. Entw., Bd. 11, 1901—1902.
Matscheck, H., *Ueber Eireifung und Eiablage bei Copepoden.* Arch. Zellf., Bd. 5, 1910 (zusammenfassende Untersuchungen über die Eireife der Copepoden).
Mc Clung, C. E., *The spermatocyte divisions of the Locustidae.* Kans. Univ. Sc. Bull., Vol. 1, 1902.
 — *The accessory chromosome — sex determinant?* Biol. Bull., Vol. 3, 1902.
Montgomery, Th. H., *A study of the chromosomes of the germ cells of Metazoa.* Trans. Am. Phil. Soc., Vol. 20, 1901.
 — *Chromosomes in the Spermatogenesis of the Hemiptera Heteroptera.* Ebenda, Vol. 21, 1906.
Moore, J. E. S., *On the struct. changes in the reprod. cells during the spermatog. of the Elasmobranchs.* Qu. J. Micr. Sc., Vol. 38, 1895 (Synapsis).
Rabl, C., *Ueber Zellteilung.* Morph. Jahrb., Bd. 10, 1885 (Kontinuität der Chromosomen).
Rückert, J., *Die Chromatin-Reduktion bei der Reifung der Sexualzellen.* Erg. An. u. Entw., Bd. 3, 1893.
 — *Zur Eireifung bei Copepoden.* Anat. Hefte, Bd. 4, 1894.
Sutton, W. S., *On the morphology of the chromosome group in Brachystola magna.* Biol. Bull., Vol. 4, 1904 (Regelmäßige Größenverschiedenheiten der Chromosomen).
Trinci, G., *L'evoluzione storica del problema della riduzione etc.* Archivio Anat. Embr., Vol. 7, 1908.
Van Beneden, Ed., 1883, siehe unter II. B. a—d.
 — und **Neyt, A.**, 1887, siehe unter II. B. a—d.
Vejdovskí, F., *Neue Untersuchungen über die Reifung und Befruchtung.* Prag 1907. 4^o.
Vom Rath, O., *Zur Kenntnis der Spermatogenese von Gryllotalpa vulg.* Arch. mikr. Anat., Bd. 40, 1892.
Wilson, E. B., 1900, siehe unter II. B. a—d.
 — *Studies on chromosomes. I—IV.* Journ. exp. Zool., Vol. 2—6, 1905—1909 (Heterochromosomen).
von Winiwarter, H., *Recherches sur l'ovogénèse et l'organogénèse de l'ovaire des Mammifères.* Arch. Biol., T. 17, 1901 (Hypothese der Parallelkonjugation).

III. Vegetative Vermehrung und Allgemeines.

- Braem, F.**, *Die ungeschlechtliche Fortpflanzung als Vorläufer der geschlechtlichen.* Biol. Centralbl., Bd. 30, 1910.
Giard, A., *L'autotomie dans la série animale.* Rev. scient., T. 39, Paris 1887.

- Giglio-Tos, E.**, *Les problèmes de la vie. I—IV. Turin u. Cagliari 1900—1910.*
- Götte, A.**, *Vergleichende Entwicklungsgeschichte der Geschlechtsindividuen der Hydroidpolypen. Zeitschr. wiss. Zool., Bd. 87, 1907.*
- Haeckel, E.**, 1894, siehe unter I.
- Haecker, V.**, 1911, siehe unter II.
- Hartmann, M.**, 1904, siehe unter I.
- Hertwig, O.**, *Das Problem der Befruchtung und der Isotropie des Eies usw. Jenaische Zeitschr., Bd. 18, 1884.*
— 1909, siehe unter I.
- von Janicki, C.**, *Ueber Ursprung und Bedeutung der Amphimixis. Biol. Centralbl., Bd. 26, 1906.*
- von Kennel, J.**, *Ueber Teilung und Knospung der Tiere. Dorpat 1888.*
- Korschelt, E., und Heider, K.**, 1903—1910, siehe unter II. B. a—d.
— *Regeneration und Transplantation. Jena 1907.*
- Lang, A.**, *Ueber den Einfluß der festsitzenden Lebensweise auf die Tiere usw. Jena 1888.*
- Loeb, J.**, *Vorlesungen über die Dynamik der Lebenserscheinungen. Leipzig 1906 u. 1908.*
- Morgan, J. H.**, *Regeneration. N.-Y. Uebers. von M. Moszkowski. Leipzig 1901 u. 1907.*
- Seeliger, O.**, *Natur und allgemeine Auffassung der Knospenfortpflanzung der Metazoen. Verh. D. Zool. Ges., 1896.*
- Spengel, J. W.**, *Die Monozootie der Cestoden. Zeitschr. f. wiss. Zool., Bd. 82, 1905.*
- Wagner, F. von.**, *Zur Kenntnis der ungeschlechtlichen Fortpflanzung von Microstoma nebst allgem. Bemerkungen usw. Zool. Jahrb., Bd. 4, 1890.*
— *Rhabdocoelida. Ungeschlechtliche Fortpflanzung und Regeneration. Bronns Kl. u. Ordn. (Turbell.). Leipzig 1908.*
- Weismann, A.**, *Die Entstehung der Sexualzellen bei den Hydromedusen. Jena 1883.*
— *Die Bedeutung der sexuellen Fortpflanzung für die Selektionstheorie. Jena 1881.*
— *Amphimixis oder die Vermischung der Individuen. Jena 1891.*
— *Das Keimplasma. Eine Theorie der Vererbung. Jena 1892.*
— *Vorträge über Deszendenztheorie. 2. Aufl., Jena 1904.*

Inhalt.

	Seite
I. Einleitung. Uebersicht der Fortpflanzungsarten	51
II. Fortpflanzung durch Einzelzellen (Cytogonie) . . .	53
A. Die Fortpflanzung der Einzelligen	53
a) Allgemeines über die Vermehrung durch Zweiteilung oder mittels Auxontenbildung (Hemitomie und Polytomie) . . .	53
b) Die Reifungserscheinungen der Protozoen und ihre morpho- logische Bedeutung	56
c) Ungeschlechtliche und geschlechtliche Fortpflanzung, Gene- rationswechsel	60
d) Verschiedene Formen der Konjugation	61
B. Die Fortpflanzung durch Einzelzellen (Cytogonie) bei viel- zelligen Wirbellosen: die Amphigonie und die von ihr ab- geleiteten Formen	62
a) Entstehung der Geschlechtszellen (Gametogenesis) . . .	62
b) Reife Geschlechtszellen	67
c) Begattung (Kopulation) und Besamung	73
d) Befruchtung	75
e) Parthenogenesis und regressiver Generationswechsel . . .	77
f) Chromosomenverhältnisse	78
III. Vermehrung durch Zellenkomplexe (vegetative Vermehrung) und Allgemeines	81
a) Verschiedene Formen der vegetativen Vermehrung	81
1) Längsteilung	81
2) Querteilung	81
3) Knospung	84
b) Tierstöcke	89
c) Progressiver Generationswechsel	91
1) Wechsel von Querteilung und geschlechtlicher Fortpflanzung	91
2) Wechsel zwischen Knospung und geschlechtlicher Fort- pflanzung	92
d) Zurückverlegung der Keimstätten	93
e) Stammesgeschichtliche Zusammenhänge der verschiedenen Vermehrungsarten	94
f) Biologische Bedeutung der verschiedenen Vermehrungsarten	96
Literatur	100

III. Abschnitt.

Allgemeine Lehre vom zelligen Aufbau des Metazoenkörpers (Gewebelehre, Histologie).

Von

Prof. **Arnold Lang**, Zürich.

Mit zahlreichen Figuren.

A. Von der Metazoenzelle im allgemeinen.

Der Körper der Metazoen stellt, wie wir im nächsten Unterabschnitt des näheren darlegen werden, einen kompakten Zellensstaat dar, zusammengesetzt aus einer großen Anzahl verschiedenartiger Zellindividuen, Lebenseinheiten, die sich in die dem Körper zukommenden Lebensverrichtungen teilen. Selbst der Körper der kleinsten, oft mikroskopisch kleinen Metazoen besteht gewöhnlich aus Hunderten von Zellen. Doch gibt es Ausnahmen von dieser Regel, beispielsweise die Dicyemiden, deren Körper aus relativ wenigen Zellen aufgebaut ist. Der Leib der größeren Tiere ist aus Millionen von Zellen zusammengesetzt.

Die Metazoenzelle besteht morphologisch aus jenen drei Hauptbestandteilen, die schon in der Einleitung zu den Protozoen Bd. I erwähnt und charakterisiert worden sind; Cytoplasma, Kern und Centrosoma.

1) Das Cytoplasma oder Zellplasma. Wir sehen hier zunächst gänzlich ab von den unendlich verschiedenartigen Differenzierungen des Protoplasmas der Gewebszellen der Metazoen und von den mannigfaltigen Einschlüssen des Cytoplasmas, Produkten des Stoffwechsels, der Assimilation und Dissimilation, des Aufbaues und Abbaues. Wir beschränken uns vielmehr zunächst auf ein kurzes Resumé der Ansichten von der feinsten Struktur des undifferenzierten Cytoplasmas. Die früher weit verbreitete Ansicht, daß das Protoplasma ein strukturloser zähflüssiger, lebendiger Eiweißkörper sei, hat durch die Evidenz der Resultate zahlreicher subtiler Beobachtungen endgültig aufgegeben werden müssen. Es ist sicher, daß das Protoplasma eine feine, vielleicht komplizierte Struktur besitzt. Doch gehen die Meinungen über dieses Gefüge weit auseinander. Die drei Hauptansichten sind folgende.

a) Die FLEMMINGSche Lehre von der Fadenstruktur des Protoplasmas, Filartheorie. Das Protoplasma besteht aus feinsten Fädchen, Fibrillen, die miteinander nicht zusammenhängen und in denen kleine Körnchen (Mikrosomen, Plasmom-

somen, Granula) eingelagert sind. Diese Fäden, die zusammen die Filarmasse, das Mitom bilden, sind etwas zähflüssiger und etwas stärker lichtbrechend, als die flüssigere hyaline Zwischenmasse (Interfilarmasse, Paramitom), in der sie liegen.

b) Die Lehre von der Schwammstruktur des Protoplasmas ist vorwiegend mit den Namen FROMMANN, LEYDIG, KLEIN, HEITZMANN verknüpft. Sie nimmt an, daß die feinsten Plasmafibrillen miteinander durch Brücken, Anastomosen verbunden sind, so daß sie ein schwammiges Gerüste bilden, dessen Maschen mit flüssiger, homogener Interfilarmasse erfüllt sind.

c) Die BÜTSCHLISCHE Theorie von der Waben- oder Schaumstruktur des Protoplasmas ist diejenige, die sich

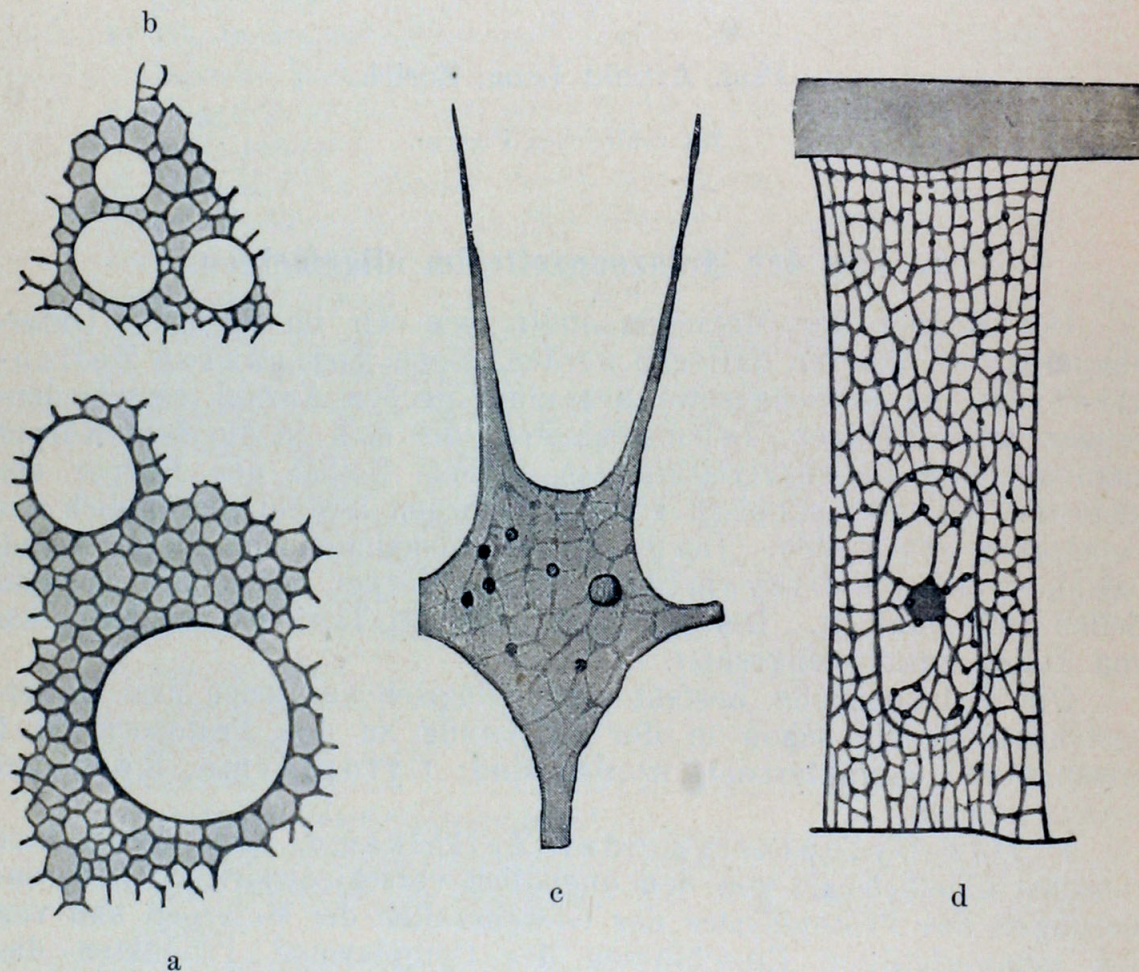


Fig. 56. a Schaumstruktur im intrakapsulären Protoplasma von **Thalassicolla nucleata**. b Schaum aus Olivenöl und Rohrzucker. c Protoplasmastruktur auf einer Pseudopodienausbreitung einer Foraminiferenzelle (**Miliola**). d Protoplasmastruktur einer Epidermiszelle des Regenwurms. Nach BÜTSCHLI aus VERWORN.

gegenwärtig der allgemeinsten Anerkennung erfreut. Von den drei hier angeführten Theorien, die durch minutiöse Untersuchungen sorgfältiger Beobachter gestützt werden, dürfte die BÜTSCHLISCHE Theorie sich am besten mit den Erfahrungen über die physikalischen Eigenschaften des Protoplasmas vertragen. Nach BÜTSCHLI sind die kleinen Räumchen im Protoplasma voneinander vollständig abgeschlossene „Zellen“. Die Bezeichnung „Zelle“ ist hier im Sinne eines abgeschlossenen Raumes gebraucht, etwa im Sinne der geschlossenen

Zellen der Bienenwaben¹⁾. Die Plasmawände dieser Zellen, die sich gegenseitig polyedrisch abplatteten, so daß die Schaumstruktur zustande kommt, sind kolloidaler, etwas zähflüssiger Natur. Sie bilden das Hyaloplasma. Ihr Inhalt, das Enchylema, ist leicht flüssig. Die feinen Körnchen (Mikrosomen) liegen in den Knotenpunkten der Schaumzellen. Auf dem optischen Durchschnitt ergibt das Schaumgefüge des Protoplasmas das Bild eines Netzes (Fig. 56). Die Schaumstruktur kann übrigens in die schwammige übergehen, wenn sich benachbarte Zellen durch Oeffnungen in der Wand miteinander in Verbindung setzen. Gelegentlich wurden in den Wänden verlaufende Fibrillen nachgewiesen. Im übrigen kann das Bild einer fibrillären Struktur dadurch zustande kommen, daß das Gefüge sich nach einer Richtung in die Länge streckt. Es ist BÜTSCHLI gelungen, künstlich mikroskopische Schäume von dem Protoplasma ähnlicher physikalischer Beschaffenheit zu erzeugen, indem er eingedicktes Olivenöl mit Kaliumkarbonat, Kochsalz oder Rohrzucker vermischte (Fig. 56 b). Beigemischte feinste Rußpartikelchen werden in den Knotenpunkten der Zellwände des Schaumes angetroffen. Teile solcher künstlicher Schäume zeigen auf Wasser lange Zeit Bewegungen, die sich von amöboiden Bewegungen nicht unterscheiden lassen. Mit den im vorstehenden besprochenen feinsten Strukturen des undifferenzierten Protoplasmas sind nicht zu verwechseln gröbere Faser-, Schwamm- oder Schaumstrukturen, die durch Ausbildung von Fasern, durch Auftreten verschiedenartiger größerer Einschlüsse, Fetttröpfchen, Dotterkörner, Eiweißkörner etc. im differenzierten Protoplasma zustande kommen können. Von den letzteren sind die ersteren durch den geringen Durchmesser der Wabenräumchen (Zellen) zu unterscheiden, der selten mehr als 1 μ beträgt.

An der Peripherie der Schäume sind die Wände der Schaumzellen senkrecht zur Oberfläche gestellt, so daß hier eine Schicht zustande kommt, welche mit einer Zellenlage der Bienenwabe Aehnlichkeit hat. Sie wird als Alveolarschicht bezeichnet (vgl. auch die Alveolarschicht des Exoplasmas von Protozoen, Bd. I).

2) Der Kern (Nucleus, Karyon). Seitdem nachgewiesen worden ist, daß die roten Blutkörperchen der Säugetiere, die als kernlos gelten (was neuerdings übrigens bestritten wird), aus kernhaltigen Zellen hervorgehen, hat der Satz volle Gültigkeit, daß ausnahmslos alle Metazoenzellen kernhaltig sind. Ueber den Bau des Kernes der tierischen Zelle ist schon in der Einleitung zu den Protozoa, Bd. I, das Wichtigste gesagt worden. Wir resumieren und ergänzen die Darstellung speziell für die Metazoenzelle.

Im ruhenden Zustande (man versteht darunter die Periode zwischen zwei aufeinanderfolgenden Teilungen, und es ist diese Periode wohl gerade diejenige der Stoffwechselaktivität des Kernes, wo er seinen Einfluß auf die vegetative Tätigkeit des Protoplasmas ausübt) hat der Kern im allgemeinen Bläschengestalt. Das Bläschen ist durchsetzt von einem netzförmigen, schwammigen oder schaumigen Gerüst aus einer nicht färbbaren Substanz, dem achromatischen Linin. Dieses Liningerüst verdichtet sich an der Oberfläche des Kernes

1) In den Schilderungen auch bedeutendster Forscher und sonst meisterhafter Darsteller herrscht eine mir unerklärliche Konfusion, die dem Uneingeweihten das Verständnis erschwert, indem die Bezeichnung Wabe bald für die einzelnen „Zellen“, bald für das ganze Gefüge oder Konglomerat von „Zellen“ verwendet wird.

und ruft das Aussehen einer Kernmembran hervor, oder aber es besteht die Membran aus einer besonderen, nicht färbbaren Substanz, dem Amphipyrenin, das mit dem gleich zu besprechenden Pyrenin verwandt zu sein scheint. Die Maschenräumchen sind mit klarem, farblosem Kernsaft erfüllt. Im ruhenden Kerne kommen stets kuglige, bei den Gewebszellen als Kernkörperchen (Nucleoli), im Kerne (Keimbläschen) der Eizellen als Keimflecke (Maculae germinativae) bezeichnete, im letzteren Falle besonders deutliche und ansehnliche, strukturlose Einschlüsse vor, deren Substanz als Paranuklein oder Pyrenin bezeichnet wird. Es handelt sich um temporär auftretende Produkte des Stoffwechsels. Das Pyrenin wird bei Behandlung mit Osmiumsäure stark lichtbrechend und färbt sich intensiv mit Eosin, Fuchsin und ammoniakalischen Farbstofflösungen. Zu Beginn der Teilung verschwinden die Kernkörperchen. Vielleicht findet ihre Substanz Verwendung zum Aufbau von neuem Chromatin. Nach Ablauf des Teilungsprozesses treten sie wieder auf.

Der wichtigste Bestandteil des Kernes jedoch ist die Chromatin- oder Nucleinsubstanz. Es handelt sich im ruhenden Kern um kleine, in großer Zahl dem Liningerüst eingelagerte Körnchen oder Stäbchen einer Substanz, welche Phosphorsäure enthält und eine große Verwandtschaft zu Farbstoffen besitzt, sich aber im Gegensatz zum Pyrenin besser in sauren Farbstofflösungen tingiert als in ammoniakalischen (basischen) und bei Einwirkung von Osmiumsäure verblaßt.

Bei der mitotischen Teilung des Kernes, deren Hauptphasen bereits in der Einleitung zu den Protozoen für unseren Zweck genügend ausführlich geschildert worden sind, verschwindet die chromatische Substanz keineswegs, vielmehr reihen sich die Chromatinkörnchen zur Bildung einer bestimmten Anzahl meist v-förmig gestalteter Chromatinschleifen (Chromosomen, Chromatinsegmente) aneinander, die sich sodann der Länge nach spalten, wobei die eine Tochterhälfte einer Chromatinschleife dem einen, die andere dem anderen Tochterkern zugeteilt wird¹⁾.

Bezüglich der chromatischen Substanz sollen hier nur andeutungsweise einige wichtige Punkte angeführt werden.

a) Die chromatische Substanz als Vererbungssubstanz. Die spezifische Kernsubstanz — es ist die chromatische — wurde von einer Reihe der bedeutendsten Forscher (HAECKEL, WEISMANN, DE VRIES, O. HERTWIG, BOVERI, STRASBURGER u. a.) als die ausschließliche oder doch als die hauptsächliche Vererbungssubstanz betrachtet. Sie soll die erblichen Eigenschaften von der Mutterzelle auf die Tochterzelle und durch die Fortpflanzungszellen die erblichen elterlichen Charaktere auf die Nachkommen übertragen. Diese Auffassung erhielt in der neuesten Zeit eine mächtige Stütze namentlich durch die Entdeckung jener überraschenden Beziehungen zwischen den sogenannten Geschlechtschromosomen und den Erscheinungen der Geschlechtsbestimmung und geschlechtsbegrenzten Vererbung,

1) Im Gegensatz zu der herrschenden Ansicht, daß die Chromatinkörnchen den wichtigsten Bestandteil des Kernes bilden und daß sie die Chromosomen bilden, verlegt die Achromatinhypothese HAECKERS (1904—1907) den Schwerpunkt auf das aus Linin- oder Achromatinsubstanz bestehende, alveolär strukturierte Grundplasma des Kernes, aus dem die Chromosomen als lokale, stark färbbare (vorwiegend basophile) Verdichtungen entstehen sollen.

deren Erkenntnis wir hauptsächlich amerikanischen und englischen Forschern (WILSON und seine Schule, MORGAN, PUNNETT, BATESON, DONCASTER usw.) verdanken. Diese Forschungen scheinen zwingend zu ergeben, daß erbeinheitliche Anlagen (Gene oder Faktoren der modernen experimentellen Vererbungslehre), welche in den Gameten enthalten sein müssen und welche im sich entwickelnden Organismus das In-die-Erscheinung-treten erblicher Merkmale bedingen, an Chromosomen gebunden oder in Chromosomen enthalten sind. Man stellt sich jetzt vor, daß diese Anlagen chemische Körper: Enzyme, Autokatalysatoren, Antikatalysatoren oder ähnliches sind.

b) Das Zahlengesetz der Chromosomen. Ausgedehnte Untersuchungen haben ergeben, daß sämtliche Zellen eines und desselben Tieres bei ihrer mitotischen Teilung, in der noch ungeteilten Äquatorialplatte, dieselbe konstante Chromosomenzahl aufweisen, daß diese Zahl im allgemeinen auch für alle Individuen einer und derselben Art charakteristisch ist, daß aber die Chromosomenzahl bei den verschiedenen Tierarten außerordentlich verschieden sein kann. Die bevorzugten Zahlen sind diejenigen, welche dem Zweiersystem: 2, 4, 8, 16, 32 oder dem gemischten Zweier- und Dreiersystem: 6, 12, 18, 24 angehören. Die geringste Chromosomenzahl findet sich bei dem Pferdespulwurm *Ascaris megalocephala* CLOQ., einem nicht zum mindesten eben dieses Umstandes halber bevorzugten, geradezu klassisch gewordenen Untersuchungsobjekt. Die eine Varietät dieser Art (*A. m. univalens* BOVERI) hat 2, die andere (*A. m. bivalens* BOVERI) 4 Chromosomen. Der Mensch hat im männlichen Geschlecht 22, im weiblichen wahrscheinlich 24 Chromosomen.

c) Die Theorie der Individualität der Chromosomen (BOVERI). Schon das Zahlengesetz der Chromosomen läßt vermuten, daß, wenn sich jeweilen bei einem Teilungsprozeß einer Metazoenzelle immer wieder die nämliche Zahl von Chromosomen aus dem Chromatingerüst des „ruhenden“ Kernes herausbildet, diese Herausbildung nicht regellos geschieht. Die regelmäßige, sorgfältige Längsspaltung der Chromosomen bei der Teilung läßt ebenfalls erwarten, daß diesen Gebilden eine besonders bedeutungsvolle Selbständigkeit zukomme. Auch gewisse tatsächlich beobachtete Befunde weisen darauf hin, daß die Chromosomen beim Uebergang in den „ruhenden“ Zustand des Kernes sich nicht regellos in das Chromatingerüst auflösen und in ihm zerstreuen, sondern daß vielmehr ein jedes Chromosoma einen besonderen Kernbezirk bildet oder daß seine Bestandteile doch miteinander in einem engeren Zusammenhang verbleiben derart, daß, wenn die Zelle sich wiederum zu einer Teilung anschickt, sich die zusammengehörigen Teile (die aus einem Chromosoma hervorgingen) zur Neubildung des Chromosoma wieder zusammenfinden und zusammenziehen. Es käme also den Chromosomen eine besondere, derjenigen der Zelle untergeordnete Individualität zu: sie assimilieren, wachsen, entwickeln sich und pflanzen sich fort. Für die selbständige Individualität der Chromosomen spricht auch der von BOVERI für *Ascaris* und Echiniden experimentell erbrachte Nachweis, daß eine abnorme Chromosomenzahl der Eier oder eines Blastomers, mag sie gegenüber der Norm erhöht oder herabgesetzt sein, sich unverändert durch alle Zellenfolgen sicher bis ins Gastrulastadium und wohl auch noch weiterhin erhält (BOVERI 1905). Die Individualitätslehre der

Chromosomen, die sich immer mehr konsolidiert, ist von ihrem Begründer, BOVERI 1887, selbst in folgenden Worten zusammengefaßt worden: „Ich betrachte die sogenannten chromatischen Segmente oder Elemente als Individuen, ich möchte sagen elementarste Organismen, die in der Zelle ihre selbständige Existenz führen. Die Form derselben, wie wir sie in den Mitosen finden, als Fäden oder Stäbchen, ist ihre typische Gestalt, ihre Ruheform, die je nach den Zellenarten, ja, je nach den verschiedenen Generationen derselben Zellenart, wechselt. Im sogenannten ruhenden Kern sind diese Gebilde im Zustand ihrer Tätigkeit. Bei der Kernrekonstruktion werden sie aktiv, sie senden feine Fortsätze, gleichsam Pseudopodien aus, die sich auf Kosten des Elements vergrößern und verästeln, bis das ganze Gebilde in dieses Gerüstwerk aufgelöst ist und sich zugleich so mit den in der nämlichen Weise umgewandelten übrigen verfilzt hat, daß wir in dem dadurch entstandenen Kernreticulum die einzelnen konstituierenden Elemente nicht mehr auseinanderhalten können.“

d) Die Zellkerne als Doppelkerne aus zwei Hälften (Gonomeren HAECKER) zusammengesetzt, von denen die eine vom väterlichen Organismus (vom Kern des Spermatozoons), die andere vom mütterlichen Organismus (vom Kern des befruchtungsfähigen Eies) herrührt (VAN BENEDEN, HÄCKER, RÜCKERT, CONKLIN u. a.). Ist die Theorie von der Individualität der Chromosomen richtig, so ergibt sich aus ihr in Verbindung mit dem Zahlengesetz und aus den Tatsachen der Reifungs- und Befruchtungslehre, daß eine Hälfte der Chromosomen der Zellkerne eines Metazoenindividuum, das aus einer befruchteten Eizelle hervorgegangen ist, vom väterlichen, die andere Hälfte vom mütterlichen „Elter“ herrühren muß. Denn der Kern des befruchteten Eies, von dem die Kerne aller Körperzellen durch fortgesetzte mitotische Teilung abstammen, besteht aus den aneinandergelagerten Kernen des Spermatozoons und des Eies, in denen jeder nur die Hälfte der normalen Chromosomenzahl führte. Gewöhnlich ist die Selbständigkeit, die Autonomie der väterlichen und mütterlichen Kernhälften oder Gonomeren nicht durch direkte Beobachtung nachweisbar. In einigen Fällen aber, z. B. bei Copepoden (Fig. 31, S. 77) und bei der prosobranchiaten Schnecke *Crepidula* ist die Zweiteiligkeit bei der Entwicklung des Organismus aus dem befruchteten Ei kürzere oder längere Zeit in der Form und Struktur des ruhenden Kernes zu erkennen. Sie gibt sich oft, wenn sie sonst nicht mehr beobachtbar ist, in der symmetrischen Gruppierung der Nukleolarsubstanz zu erkennen. Bei Copepoden ist die Autonomie der Gonomeren durch die ganze Entwicklung hindurch bis zu den neuen Urgeschlechtszellen durch HAECKER festgestellt worden.

e) Qualitative Verschiedenheit, d. h. Ungleichwertigkeit der Chromosomen.

Gegenwärtig wird die nach vielen Richtungen hin bedeutungsvolle Frage untersucht und lebhaft diskutiert, ob die einzelnen Chromosomen, resp. Chromosomenpaare eines Kernes untereinander ungleichwertig sind (BOVERI) oder ob sie dieselben Qualitäten besitzen. Die chromatische Substanz als Vererbungssubstanz aufgefaßt, ist die Frage die, ob die Anlagen der für einen Organismus charakteristischen Merkmale (ihre Gene) auf verschiedene Chromosomen, resp. Chromo-

somenpaare verteilt oder ob sie samt und sonders in jedem einzelnen enthalten sind. Nach dieser Richtung hin und auch weil sie eine glänzende Bestätigung der Lehre von der Individualität der Chromosomen sind, haben die Forschungsergebnisse über die Geschlechts- oder Heterochromosomen ein hervorragendes Interesse. Für die erste Phase in der Erkenntnis der in Frage stehenden Vorkommnisse mag die Untersuchung von SUTTON (1900, 1902) über die Chromosomen von *Brachystola magna* (einer Heuschrecke) als besonders charakteristisch gelten (Fig. 57—61). Bei dieser Tierform besitzen die Kerne (untersucht wurden in erster Linie diejenigen der Spermatogonien und Oogonien) 22 Chromosomen, die ungleich lang und dick sind, doch so, daß Chromosomen von exakt derselben Größe und Form nur je in einem Paar vorzukommen scheinen. In jeder

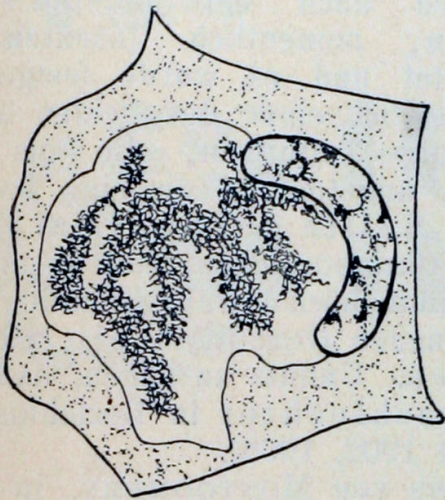


Fig. 57.

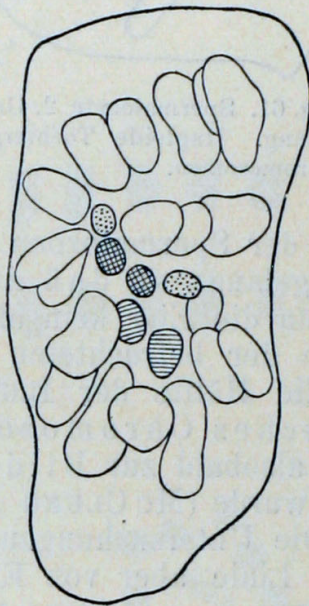


Fig. 58.

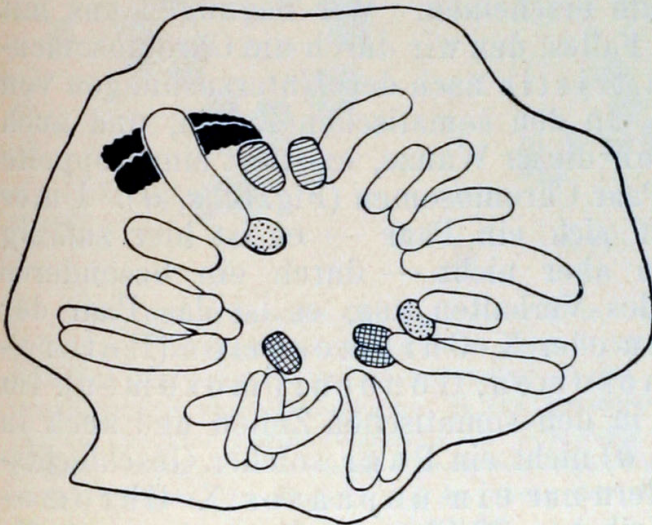


Fig. 59.

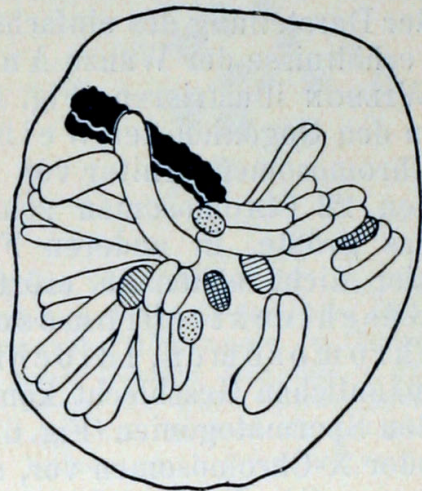


Fig. 60.

Fig. 57—61. Chromatinverhältnisse bei der Spermatogenese von **Brachystola magna**, nach SUTTON, aus BOVERI. Fig. 57. Sekundäre Spermatogonie im Ruhezustand. Das „akzessorische“ Chromosoma hat eine besondere Vakuole gebildet. Fig. 58, 59, 60. Teilungsstadien von Spermatogonien, in Fig. 58 das „akzessorische“ Chromosoma nicht unterscheidbar.

Generation treten wieder die nämlichen Paare von Chromosomen in unveränderter Zahl auf. Es existieren also offenbar 11 Paar Chromosomenindividuen von verschiedener

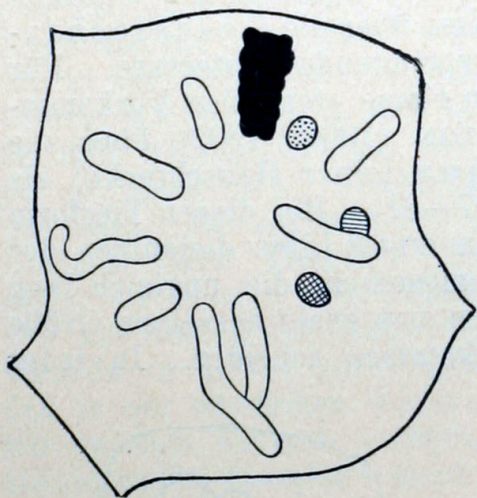


Fig. 61. Spermatocyte 2. Ordnung in Teilung. Haploide Tochtergruppe von Chromosomen.

Größe und Form und sehr wahrscheinlich ist von jedem Paar das eine Chromosoma väterlicher, das andere mütterlicher Herkunft. Neben den 22 paarigen Chromosomen fand nun SUTTON im männlichen Geschlecht noch ein 23. unpaares, sogenanntes akzessorisches Chromosoma, das sich in mancher Beziehung von allen übrigen abweichend verhält. Ein solches akzessorisches Chromosoma wurde sodann vielfach auch bei anderen Tierformen, namentlich Insekten beobachtet und es wurde festgestellt, daß es bei einer der beiden letzten (Reifungs-)Teilungen, die der Bil-

dung der Spermatozoen vorausgehen, ungeteilt in die eine Tochterzelle gelangt, so daß also nur die Hälfte der Spermatozoen und, da die Eier kein akzessorisches Chromosoma enthalten, nur die Hälfte der befruchteten Eier und damit höchst wahrscheinlich auch nur die Hälfte der Individuen der neuen Generation ein akzessorisches Chromosoma erhalten. Unnütz zu sagen, daß dasselbe alsobald zur Bildung der Geschlechter in Beziehung gesetzt wurde (McCLUNG 1901, SUTTON 1902, 1903).

Die Untersuchungen, die besonders von MONTGOMERY, in allererster Linie aber von EDMUND B. WILSON und seiner Schule, Miss STEVENS u. a. fortgesetzt wurden und für die vornehmlich gewisse Hemipteren (Wanzen) als Objekte dienten, ließen die Heterochromosomen in einem anderen Lichte erscheinen. Wir begnügen uns mit der Darstellung des einfachsten Falles, den wir durch die Chromosomenverhältnisse der Wanze *Anasa tristis* nach den Untersuchungen von WILSON illustrieren (Fig. 62). In den somatischen Zellen, und auch in den Oogonien der Weibchen dieser Wanze, existiert eine doppelte Chromosomengarnitur von 11 Paar Chromosomen (Fig. 62 *c*, *d*). Unter den 22 Chromosomen zeichnet sich ein Paar — es ist hier zufällig das größte, in anderen Fällen aber nicht — durch ein besonderes hier nicht näher zu erörterndes Verhalten aus, es ist das Paar der Geschlechtschromosomen oder X-Chromosomen (Heterochromosomen, Idiochromosomen, Gonochromosomen). Im männlichen Geschlecht kommt in den somatischen Zellen und auch in den Spermatogonien (Fig. 62 *a*, *b*) nicht ein Paar solcher Geschlechts- oder X-Chromosomen vor, sondern nur ein unpaares X-Chromosoma (*h*). Besitzt also das Weibchen 22 Chromosomen (darunter die beiden X-Chromosomen, so hat das Männchen nur 21 Chromosomen (weil ihm ein X-Chromosoma fehlt). Das unpaare X-Chromosoma des Männchens ist also nicht ein akzessorisches oder überzähliges. Im Gegenteil, es fehlt dem Männchen ein X-Chromosoma, das dem Weibchen zukommt. In einer der Reifungsteilungen bei der Oogenesis trennen sich die beiden

X-Chromosomen der weiblichen Keimzellen. Jede Tochterzelle erhält so ein X-Chromosoma. Alle reifen befruchtungsfähigen Eier erhalten je ein X-Chromosoma, sie haben also alle im ganzen je 11 Chromosomen (die reduzierte, halbe, „haploide“ Chromosomenzahl). Die Weibchen sind homogametisch. Bei der Spermatogenese dagegen hat das unpaare X-Chromosoma in der Reifungsteilung (Reduktionsteilung) (Fig. 62 *f*), die jener Reifungs-

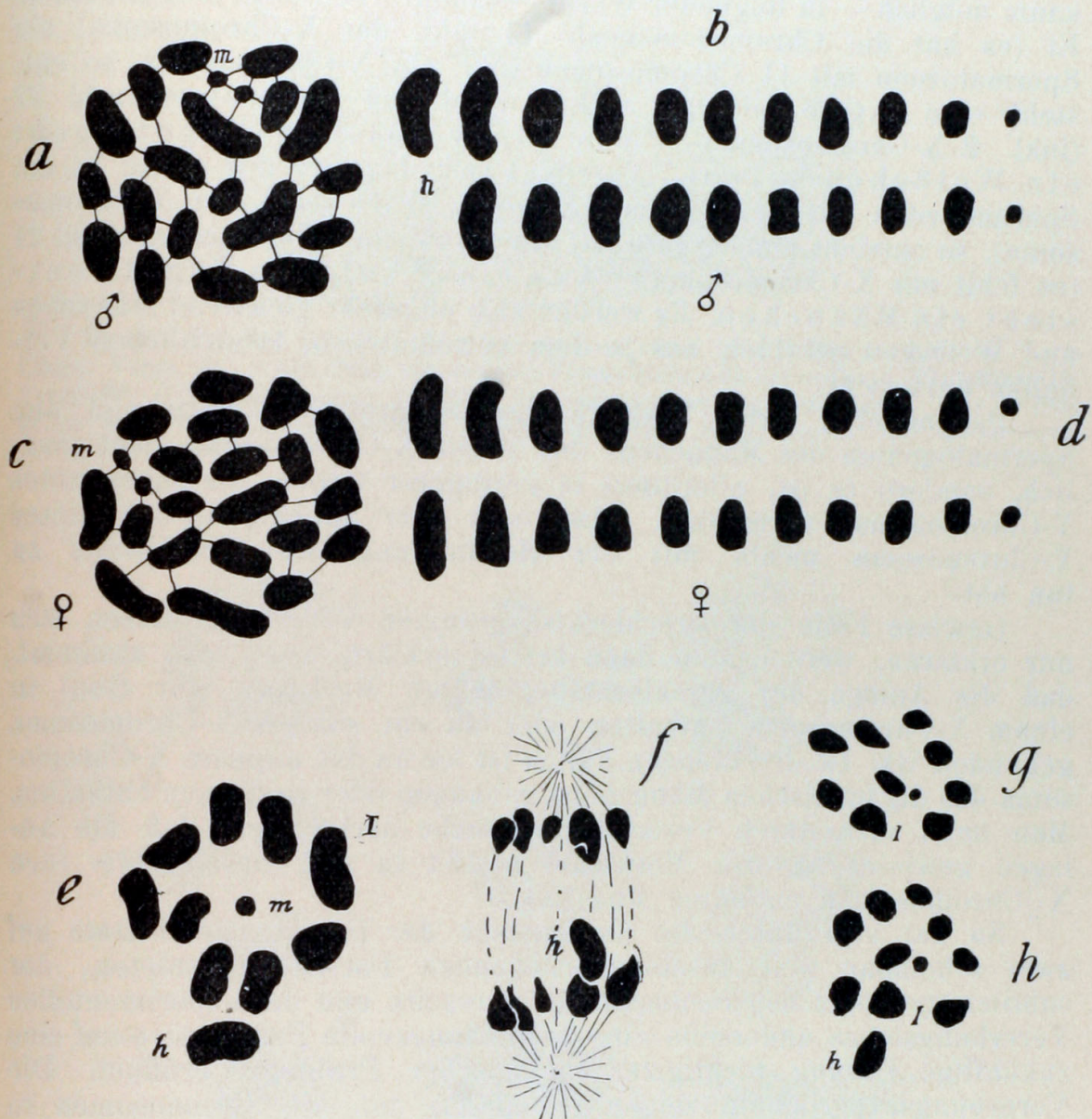


Fig. 62. Doppelte Chromosomengarnitur von *Anasa tristis*, nach WILSON, aus HAECKER. *a* Chromosomengarnitur eines Spermatogoniums. *b* Die Chromosomen dieser Garnitur paarweise in Reihen angeordnet, *h* das „akzessorische“ Chromosom. *c* Chromosomengarnitur eines Oogoniums. *d* Die Chromosomen dieser Garnitur paarweise in zwei Reihen einander gegenübergestellt. *e* Metaphase (Endstadium) der ersten Spermatocyten- teilung; reduzierte, haploide Chromosomengarnitur, *I* das größte bivalente Chromosoma, *m* das kleinste Chromosoma. *f* Anaphase der zweiten Teilung. *g*, *h* Schwestergruppen aus der zweiten Teilung in Polansicht.

teilung in der Oogenese entspricht, bei der die beiden X-Chromosomen sich verabschieden, keinen Partner. Es gelangt in die eine Tochterzelle, während die andere leer ausgeht. Mithin erhält nur die eine Hälfte der Spermatozoen ein X-Chromosoma, der anderen fehlt es. Das männliche Geschlecht ist digametisch.

Die eine Hälfte der männlichen Gameten erhält 11 Chromosomen (inkl. das X-Chromosoma), die andere Hälfte aber nur 10 Chromosomen (es fehlt ein X-Chromosoma).

(Bei anderen Tieren, z. B. bei Seeigeln nach BALTZER 1909, zeigt sich das umgekehrte Verhalten; das männliche Geschlecht ist hier homogametisch, das weibliche dagegen digametisch.)

Bei der Befruchtung wird das Geschlecht — daran ist ein Zweifel kaum möglich — in folgender Weise bestimmt. Vereinigt sich mit einem Ei (es hat die Chromosomenzahl 11 inkl. das X-Chromosoma) ein Spermatozoon mit 11 Chromosomen inkl. ein X-Chromosoma, so entsteht eine Zygote mit der vollen weiblichen Chromosomenzahl 22 (inkl. 2 X-Chromosomen). Aus einer solchen Zygote geht ein Weibchen hervor. Vereinigt sich dagegen mit einem Ei ein Spermatozoon mit der Chromosomenzahl 10 (es fehlt das X-Chromosoma), so entsteht eine Zygote mit der männlichen Chromosomenzahl 21 (es fehlt ein X-Chromosoma). Aus einer solchen Zygote entsteht ein Männchen. Es werden also ungefähr gleichviel Männchen und Weibchen gebildet, was ja dem gewöhnlichen, tatsächlichen Verhalten entspricht.

Bei anderen Arten fehlt in den somatischen Zellen und den Spermatogonien des Männchens das zweite X-Chromosoma nicht gänzlich, sondern es ist, allerdings in geringerer Größe, als sogenanntes Y-Chromosoma, vorhanden. Man muß aber annehmen, daß dieses Y-Chromosoma nichts mit der Bestimmung des Geschlechts zu tun hat.

Gewisse Fälle der geschlechtsbegrenzten Vererbung lassen sich nur erklären, werden aber dann restlos erklärt, wenn man annimmt, daß die Anlage der geschlechtsbegrenzten Merkmale (ihr Gen) in einem X-Chromosoma enthalten oder an ein solches X-Chromosoma gebunden ist. In den meisten Fällen ist sie an das unpaare X-Chromosoma des digametischen Männchens gebunden oder in diesem enthalten. Man kann auch durch Vererbungsversuche nachweisen, daß die Anlagen gewisser anderer Merkmale nicht in den Geschlechts- (den X-)Chromosomen enthalten sind usw.

So hat sich durch die Konkordanz der Forschungsergebnisse auf zwei scheinbar weit auseinanderliegenden Forschungsgebieten, der subtilen cytologischen Beobachtung einerseits und der experimentellen Vererbungslehre andererseits eine verheißungsvolle Perspektive auf eine zukünftige Lösung wichtigster biologischer Probleme eröffnet. Die Vererbungsexperimente zeigen jedenfalls, daß die Chromosomen in gewissen Fällen qualitativ verschieden sind. In anderen Fällen mögen sie ganz oder teilweise übereinstimmende Erblichkeitsfaktoren enthalten.

f) Form des Kerns. Die gewöhnliche Form des Zellkerns ist die kuglige oder ellipsoidische, und zwar die eines kugligen oder ellipsoidischen Bläschens. Doch gibt es Ausnahmen von dieser Regel. Bemerkenswert sind die verästelten Zellkerne, die namentlich in Drüsenzellen von Arthropoden vorkommen (gewisse Drüsenzellen bei der Krebsgattung *Phronima* (Fig. 63), Drüsenzellen von Speichel- und Spinndrüsen, auch der MALPIGHISCHEN Gefäße von Insekten). Unregelmäßig konturierte oder gelappte Zellkerne kommen auch bei gewissen Formen von Lymphkörperchen (Lymphocyten, Leukocyten) vor (Fig. 64).

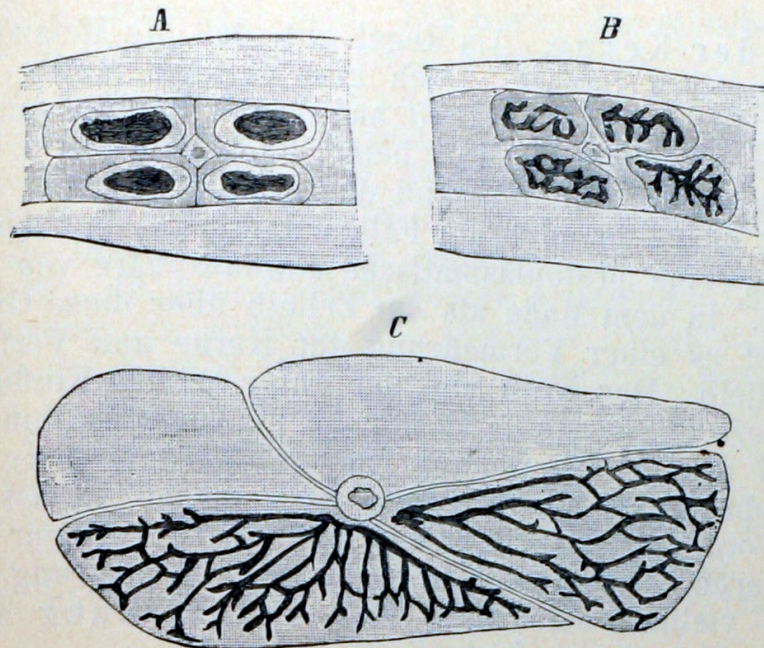


Fig. 63. A Ein Stück vom siebenten Bein einer jungen **Phronima** von 5 mm Länge. Vergr. 90. B Ein Stück des sechsten Beines einer halb erwachsenen **Phronimella**. Vergr. 90. C Eine Zellgruppe der Drüse im sechsten Bein von **Phronimella**. Nur in zwei Zellen ist der Kern eingezeichnet. Vergr. 90. Nach PAUL MAYER aus KORSCHULT.

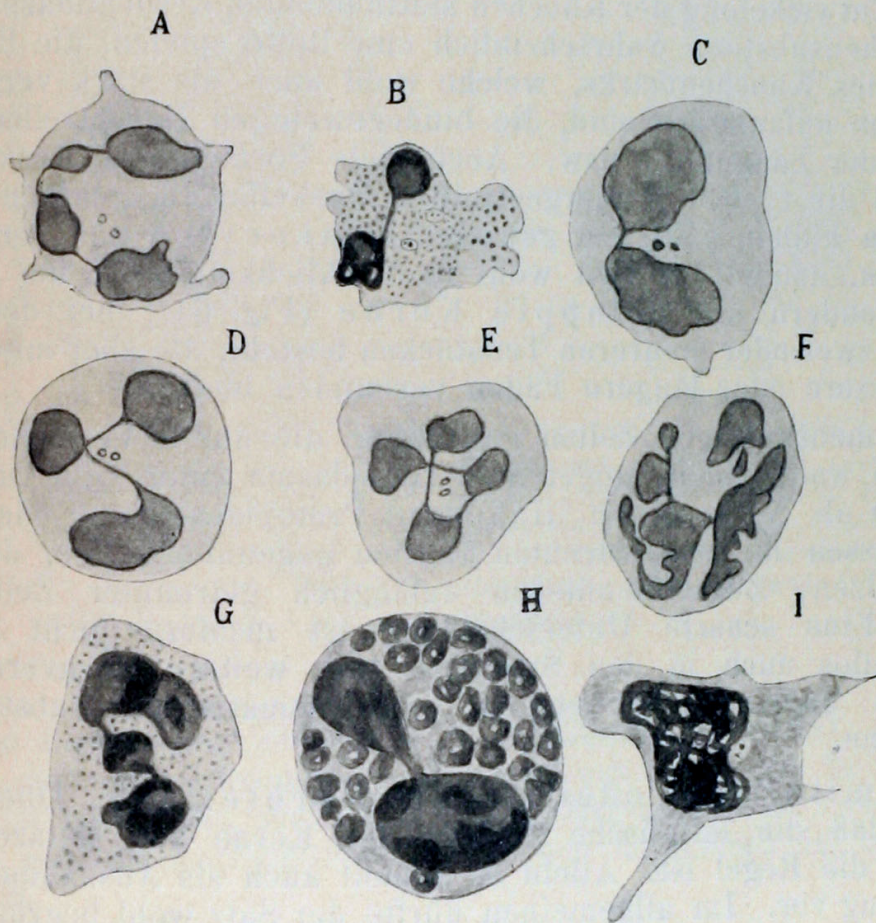


Fig. 64. Leukocyten von Säugetieren und Amphibien mit verschieden gestalteten Kernen. A Spezialgranulierter Leukocyt von Säugern, aus dem strömenden Blut, gelappte Hufeisenform des Kerns. B und C Acidophile Leukocyten in amöboider Bewegung aus normalem, strömendem Blut des Menschen. D S-Form (wie A). E Schleifenform. F Mastleukocyt aus leukämischem Blute des Menschen, Kern stark und unregelmäßig zerklüftet. G Spezialgranulierter Leukocyt aus dem Mundspeichel des Menschen, vierfach gelappte S-Form des Kerns. H Acidophiler Leukocyt aus dem Blute einer alten Kröte. I Lymphzelle aus dem Blute des Menschen in amöboider Bewegung, sogenannter großer mononukleärer Leukocyt. Nach FRANZ WEIDENREICH, 1911.

g) Zahl der Kerne. Als Regel gilt, daß die Metazoenzelle nur einen einzigen Kern besitzt. Doch gibt es auch mehr- bis vielkernige Zellen. Diese sind oft auf frühen Stadien einkernig und kommen dann so zustande, daß beim Wachstum des Zelleibes der Kern sich sukzessive teilt, während der Zelleib ungeteilt bleibt. Die Vielkernigkeit dürfte in manchen Fällen damit zusammenhängen, daß der Kern über eine protoplasmatische Einflußsphäre von bestimmter Größe verfügt. In dem Maße als der Zelleib über diese Größe hinaus wächst, bedarf es einer Vermehrung der Kerne und Verteilung derselben im Zelleib. Der Kern und der unter seinem Einfluß stehende Protoplasmabezirk lassen sich zusammen als eine funktionelle Einheit auffassen und wie in der Botanik (SACHS) als eine Energide bezeichnen. Mehrkernige Zellen wären nach dieser Auffassung aus so vielen untergeordneten funktionellen Einheiten, Energiden, zusammengesetzt, als Kerne in ihnen vorkommen. Die Vermehrung des Kernes mag daneben vielfach auch bloß eine Verstärkung seines Einflusses auf das Cytoplasma bedeuten.

Zu den mehrkernigen Zellen gehören gewisse Formen von Leukocyten (farblosen Blutkörperchen), z. B. die Eiterkörperchen, ferner die Myeloplaxen oder Osteoklasten, die bei den zur Zeit der Entwicklung der Knochen stattfindenden Resorptionsprozessen von Knochensubstanz wahrscheinlich eine Rolle spielen, die Riesenzellen des Knochenmarks, welche wohl auch als stark vergrößerte Leukocyten aufzufassen sind, die bindegewebigen Riesenzellen in der Decidua der Säugetiere usw. Auch viele Formen von Muskelzellen, besonders die typischen quergestreiften Muskelfasern, gehören hierher. In einigen Fällen, z. B. bei gewissen Leukocyten und verwandten Zellformen, handelt es sich wohl in Wirklichkeit nicht um multiple Kerne, sondern um gelappte Kerne (Fig. 64), bei denen der Kern aus zwei oder mehreren Teilstücken besteht, die aber miteinander durch kürzere oder längere Fäden verbunden bleiben.

Den mehrkernigen Zellen gegenüber, die durch Vermehrung der Kerne im wachsenden, ungeteilten Cytoplasma einer Zelle entstehen, kann man als Syncytien (HAECKEL) Protoplasmahäute oder Protoplasamassen mit eingestreuten Kernen gegenüberstellen, die durch Verschmelzen, Zusammenfließen anfänglich getrennter Zellen entstehen. Eine scharfe Unterscheidung ist insofern nicht möglich, als zweifellos auch in den Syncytien eine weitere Kernvermehrung bei stets ungeteilt bleibendem protoplasmatischen Substrat eintreten kann.

h) Amitotische oder direkte Kernteilung. Oben wurde gesagt, daß die mitotische Teilung der Kerne der Metazoenzellen durchaus die Regel ist. Allein es kommt auch als Ausnahme direkte Kernteilung vor. Im allgemeinen dürfte der Satz wohl begründet sein (er gilt indes nicht ausnahmslos), daß die direkte Zellteilung nur bei Elementen vorkommt, die nach wenigen Generationen absterben werden. Man könnte sie also als eine mit Bezug auf Zellgenerationen senile Erscheinung bezeichnen. Beispiele: Die Blutzellen pflegen sich in frühen Generationen durch mitotische Teilung zu vermehren, während ihre letzten Teilungen wohl immer amitotisch verlaufen. Oogonien und Spermatogonien teilen sich stets mitotisch, während bei Follikelzellen und Nährzellen direkte Kern-

teilung vielfach beobachtet wird. Die Kerne der mehrkernigen Zellen entstehen wohl immer durch direkte Kernteilung.

i) Die funktionelle Bedeutung des Zellkerns. Nach zahlreichen Untersuchungen, die auf zoologischem Gebiete von KORSCHULT (1889) inauguriert worden sind, läßt sich nicht daran zweifeln, daß der Kern einen wichtigen Einfluß auf die formative und vegetative, besonders die resorbierende und sezernierende Tätigkeit des Protoplasmas ausübt. In seiner unmittelbaren Umgebung ist die Tätigkeit des Protoplasmas am größten. In gewissen Fällen wird eine Lageveränderung des Kernes in der Zelle beobachtet, zum Zwecke, das Protoplasma an einer bestimmten Stelle zur Bildung oder Aufnahme bestimmter Substanzen anzuregen. Oder es erhöht der Kern seinen Reiz, der mit Fermentwirkung verglichen werden kann, dadurch, daß er sich vergrößert, sich verästelt, daß er sich teilt, wobei die Teilstücke sich im Protoplasma verbreiten, oder dadurch, daß er durch Ausstrecken amöboider oder pseudopodienartiger Fortsätze nach be-

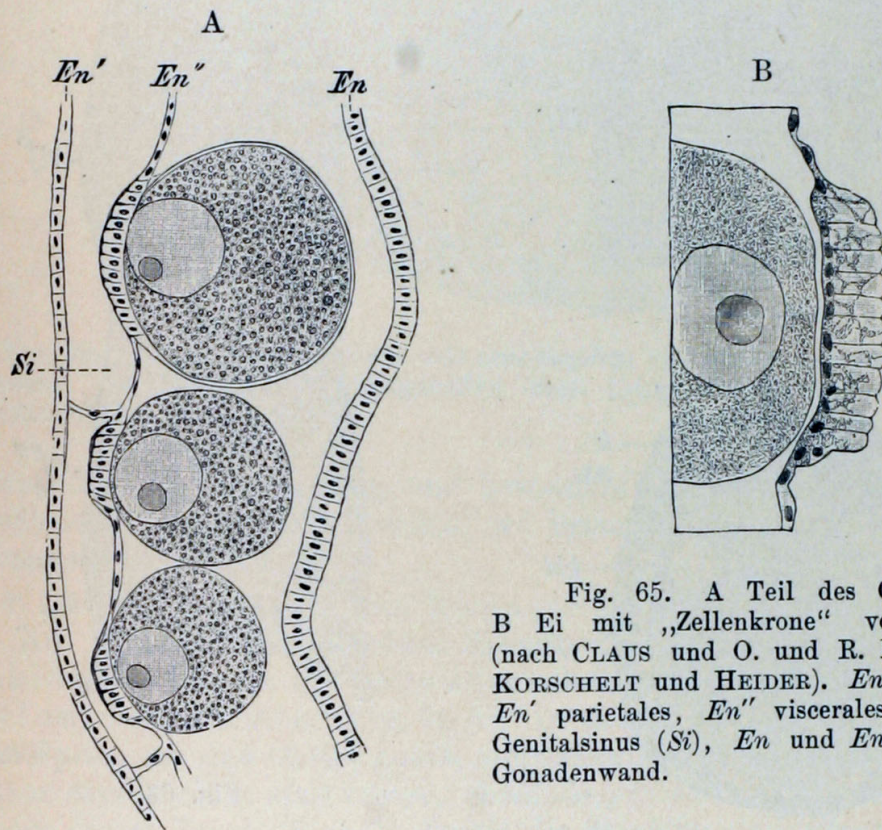


Fig. 65. A Teil des Genitalbandes. B Ei mit „Zellenkrone“ von **Pelagia** (nach CLAUS und O. und R. HERTWIG aus KORSCHULT und HEIDER). *En* Darmepithel, *En'* parietales, *En''* viscerales Epithel des Genitalsinus (*Si*), *En* und *En''* bilden die Gonadenwand.

stimmten Richtungen lebhaft tätige Bildungsherde schafft. Auch der Austritt geformter Chromatinbestandteile aus dem Kern in das Protoplasma ist beobachtet worden und der gelegentliche oder regelmäßige Austritt gelöster Paranukleinsubstanz aus dem Kern ist sehr wahrscheinlich.

Beispiele. α) Ernährung der Eier von *Pelagia* (Meduse) (Fig. 65). Die reifenden Eier liegen einer Epithellamelle der Genitalfalte dicht an. An dieser Stelle ist das Epithel auffällig polsterartig erhöht und verdickt, eine Einrichtung, die zweifellos zur Ernährung der Eier in Beziehung steht. Der Kern (Keimbläschen) des Eies liegt in diesem ganz exzentrisch, dicht unter der an das Epithelpolster grenzenden Oberfläche, also an die Nahrungsquelle gerückt.

β) Eiröhren von Insekten (Fig. 66—68). In den Ovarialröhren zahlreicher Insekten alternieren Eifächer (die ein heranwachsendes, entwicklungsfähiges Ei enthalten) mit Nährfächern (welche Nährzellen [Dotterzellen] in der Ein- oder Mehrzahl enthalten). Anfänglich sind die Nährzellen, in denen die großen Kerne, welche oft eine exquisit ver-

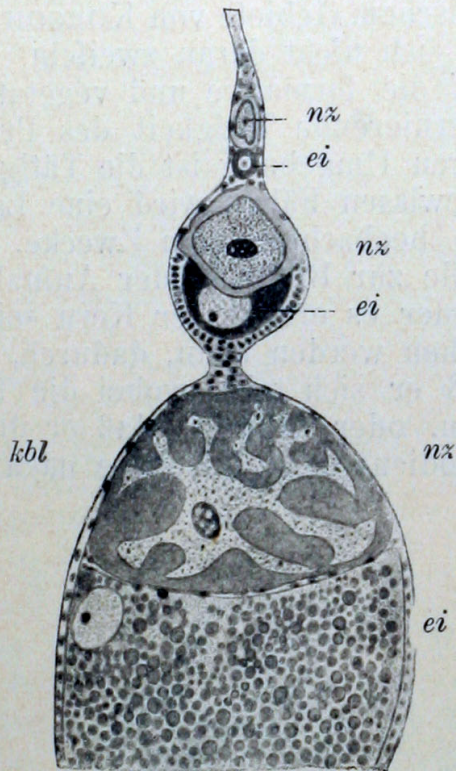


Fig. 66.

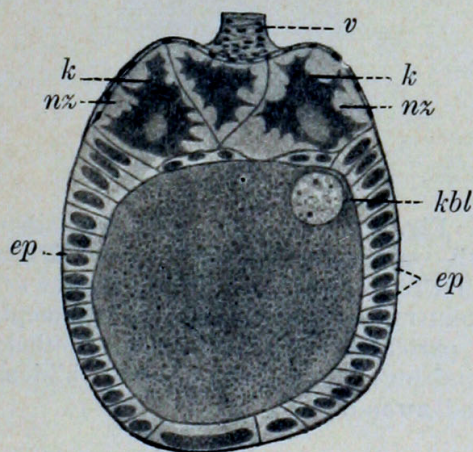


Fig. 67.

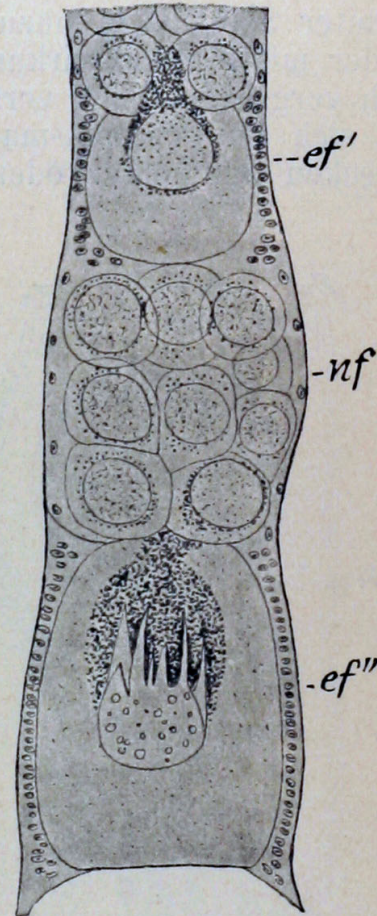


Fig. 68.

Fig. 66. Eiröhre von **Forficula auricularia** im Längsdurchschnitt. *ei* Oocyte (umgeben vom Follikelepithel), *kbl* Kern (Keimbläschen), *nz* Nährzelle (nach KORSCHOLT und HEIDER).

Fig. 67. Ei- und Nährfach der Eiröhre von **Vanessa urticae**. *ep* Ovarial- (Follikel-) Epithel, *k* Kerne der Nährzellen (*nz*), *kbl* Kern (Keimbläschen) der Eizelle, *v* Verbindungsstrang zwischen zwei Fächern (nach KORSCHOLT und HEIDER).

Fig. 68. Eiröhre von **Dytiscus**. *ef'*, *ef''* Eifächer, *nf* Nährfach (nach KORSCHOLT, aus HAECKER).

ästelte Gestalt annehmen, eine sezernierende Tätigkeit des Protoplasmas erkennen lassen, größer als die Eizellen. Letztere, die Eizellen, werden aber bald größer als die ersteren, indem sie auf Kosten der Nährsubstanzen der Dotterzellen wachsen. Dabei schmiegt sich der exzentrisch

gelagerte Kern oft recht innig dem Nährfache an. Oft wandern die in den Nährzellen erzeugten ernährenden Sekrete direkt in das Protoplasma der Eizelle hinüber, dessen Keimbläschen dieser Nahrungsquelle amöboide Fortsätze entgeschickt.

γ) Während der Dotterbildung im Ei von *Pholcus phalangioides* (Spinne) zeigt nach VAN BAMBEKE (1897) das Keimbläschen amöboide Beweglichkeit. Dabei läßt sich beobachten, daß die

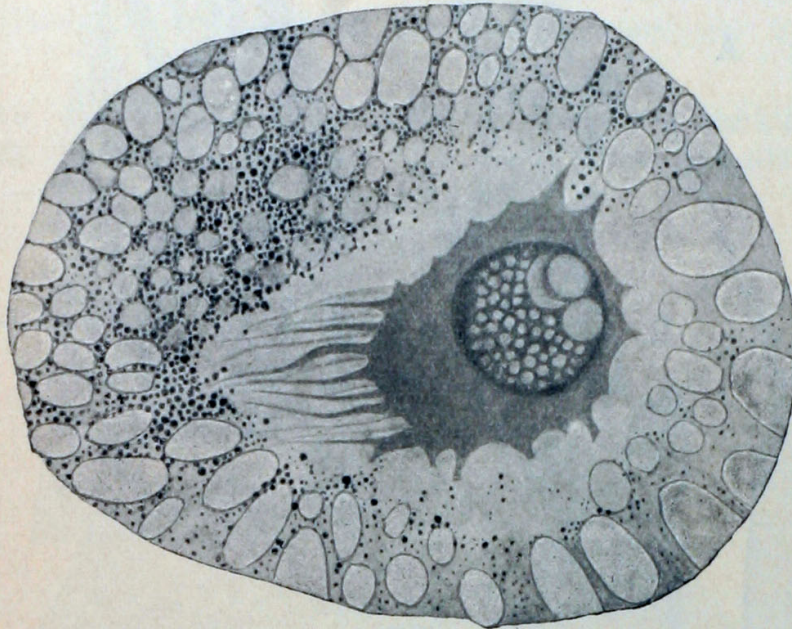


Fig. 69. Kern (Keimbläschen) mit umgebendem Cytoplasma während der Bildung des Dotters, von *Pholcus phalangioides* (nach CH. VAN BAMBEKE aus KORSCHOLT und HEIDER).

Pseudopodien besonders lang und besonders zahlreich nach einem Cytoplasmabezirk ausgestreckt werden, wo besonders zahlreiche Fettkörnchen vorkommen (Fig. 69).

δ) Die Eistrahlen von *Ranatra linearis* L. (Wasserwanze) (Fig. 70). Das Ei von *Ranatra linearis* ist durch zwei lange, als Eistrahlen bezeichnete Fortsätze seiner chitinen Schale, des sogenannten Chorion, ausgezeichnet (Fig. 70 A). In der Achse des Strahles und an dessen Spitze ist das Chitin porös, schwammig, und diese poröse Achsen-substanz setzt sich in eine innere, ebenfalls poröse Lage des Chorions fort. Vermöge dieser Beschaffenheit dienen die Strahlen als Luftkanäle, welche dem in Pflanzenstengel eingesenkten Ei Luft zuführen. Das Chorion wird als eine Cuticularbildung vom Follikelepithel der Ovarialröhre abgeschieden. Die Bildung seiner beiden „Strahlen“ aber erfolgt in folgender Weise. Seitlich am oberen Pole des Follikels einer Eikammer kommt durch starke Vermehrung und intensives Wachstum der Epithelzellen ein Zellenhöcker zustande, welcher als konisch geformter Aufsatz hervorwächst (Fig. 70 B 1). Am Grunde dieses Aufsatzes vergrößern sich zwei Paar Zellen und bilden, indem die beiden Zellen eines Paares miteinander verschmelzen, zwei Doppelzellen, in denen aber die Kerne getrennt bleiben (Fig. 70 C 5 D). Diese beiden Zellen wachsen sodann enorm und erreichen eine Länge von 1,3 mm. Die Kerne bilden an ihrer nach innen gekehrten Seite längere oder kürzere Fortsätze (Pseudopodien). In dem Raum zwischen diesen Fortsätzen der beiden Kerne der Doppelzelle findet die Bildung der spongiösen Chitinachse des Strahles statt. Diese beginnt

dicht am Chorion, mit dem die Chitinmasse des Strahles gleich bei der ersten Anlage verschmilzt. Im weiteren Verlauf der Strahlenbildung wird die immer mehr auswachsende Doppelzelle teils von dem von ihr selbst abgesonderten, sich verlängernden Chitinzapfen, teils durch die

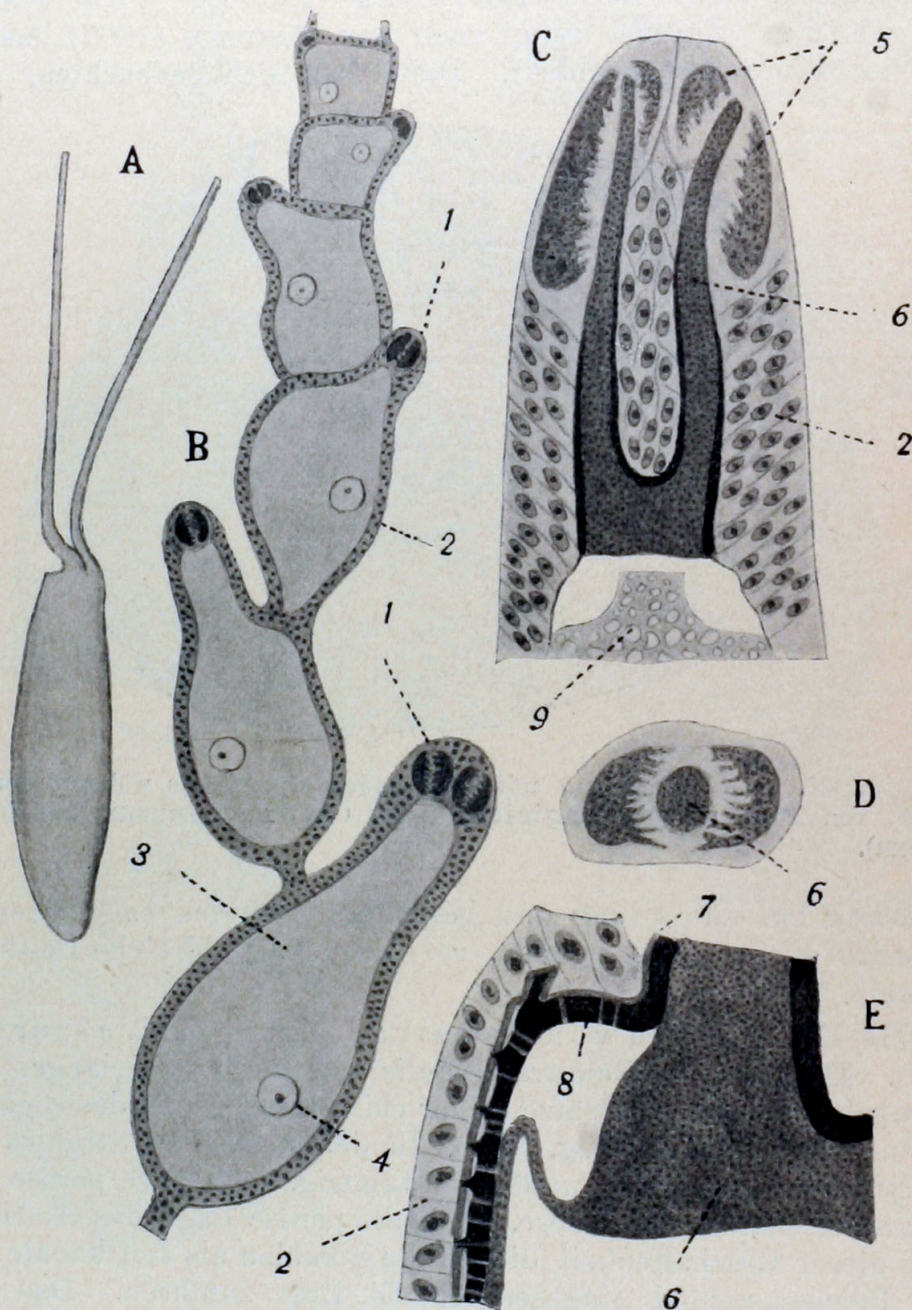


Fig. 70. A Ei von **Ranatra linearis** mit den beiden Eistrahlen. B Teil eines Längsschnittes einer Eiröhre von **Ranatra**. Die Doppelzellen an den größeren Eikammern gut sichtbar. Ihre Kerne mit den pseudopodienartigen Fortsätzen sind dunkel gehalten. 1 konischer Aufsatz der Eikammern, in welchem die Doppelkerne liegen, 2 Follikel-epithel, 3 Eizellen, 4 Kerne derselben (Keimbläschen). C Längsschnitt eines Aufsatzes, in dem die bereits zum Teil ausgebildeten beiden Eistrahlen (6) liegen. Mit ihrem oberen Kernen (5). 9 Eidotter. D Querschnitt einer Doppelzelle mit dem Chitinstrahl (6) zwischen den beiden Riesenkernen. E Teil eines Längsschnittes vom oberen Pol des Follikels. Nach innen von der epithelialen Wandung (2) des letzteren erkennt man die verschiedenen Schichten der Eischale: die äußere zuletzt entstandene Leistschicht (7), darauf die dicke von Porenkanälen durchsetzte, im übrigen aber homogene Schicht (8) (schwarz dargestellt) und schließlich die innere, schwammig poröse Schicht (6) (dunkel und punktiert) des Chorions. Nach EUGEN KORSCHOLT, 1887, zum Teil (unwesentlich) verändert.

vorwachsende Zellenscheide des Follikelepithels, welche ihrerseits die äußere homogene Chitinschicht des Strahles bildet, in die Höhe gehoben und so kommt es, daß die eine Doppelzelle die gesamte innere Partie des einen Strahles zu bilden vermag, auch wenn sie dessen Länge nicht erreicht. Die Beziehungen des Kernes zu der Funktion des Protoplasmas, Chitin von bestimmter Struktur und Form zu erzeugen, oder sich in dasselbe umzubilden, sind hier besonders augenfällig. Die Kernfortsätze erhalten sich so lange, als neues Chitin zwischen ihnen zur Verlängerung der Strahlen gebildet wird.

Mit den skizzierten Anschauungen über die funktionelle Bedeutung des Zellkernes verträgt sich auch ganz gut die uns schon

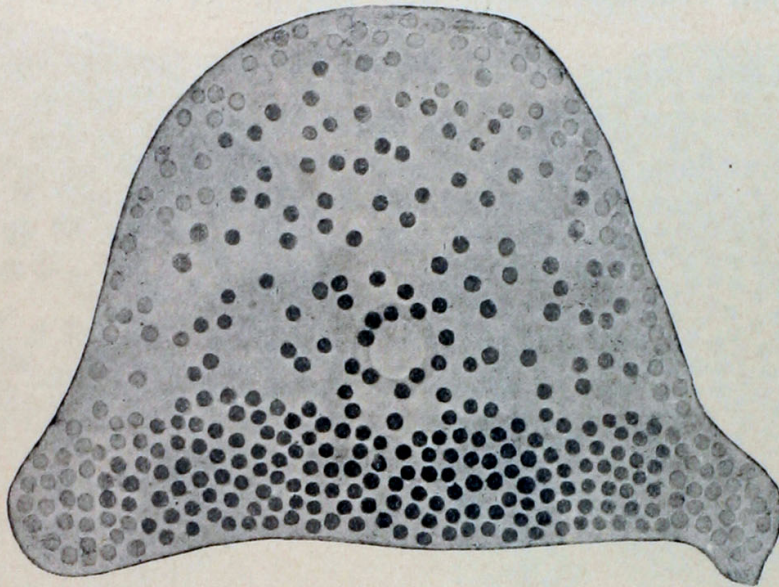


Fig. 71. Stück von der Oberfläche eines jungen Pluteus von **Echinus microtuberculatus**, aus einem kernhaltigen Eifragment gezüchtet. Nach BOVERI.

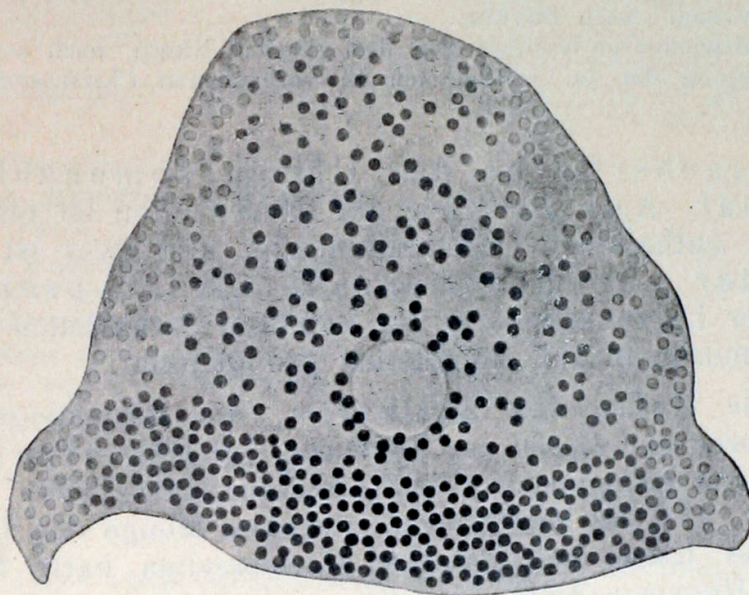


Fig. 72. Desgleichen von den gleichen Eltern, aus einem **kernlosen** Eifragment. Nach BOVERI.

bekannte wohlbegründete Ansicht, zu der man auf ganz anderem Wege gelangte, daß der wichtigste Inhaltsbestandteil des Kernes, das Chromatin, Träger der erblichen Eigenschaften ist

oder die Vererbungssubstanzen enthält. Auf diese oder jene Weise, nach der Hypothese von DE VRIES (1899) durch Ausscheidung und Austritt stofflicher Teilchen muß das Chromatin dem umgebenden Protoplasma einen bestimmten Charakter aufprägen, einen bestimmten formativen Einfluß auf dasselbe ausüben.

k) Bedeutungsvoll sind auch die Resultate neuerer Untersuchungen über die „Beziehungen zwischen Chromosomenzahl, Kerngröße und Zellgröße. Ich erwähne zunächst diejenigen von BOVERI (1905), die an Larven von Seeigeln angestellt worden sind, welche sich aus Eiern oder Blastomeren mit abnormer Chromosomenzahl entwickelten. Die Chromosomen bewahren dabei ihr typisches Volumen, die Kerne mit verminderter Chromosomenzahl sind aber entsprechend kleiner, die mit erhöhter entsprechend größer (Fig. 71—74), und zwar

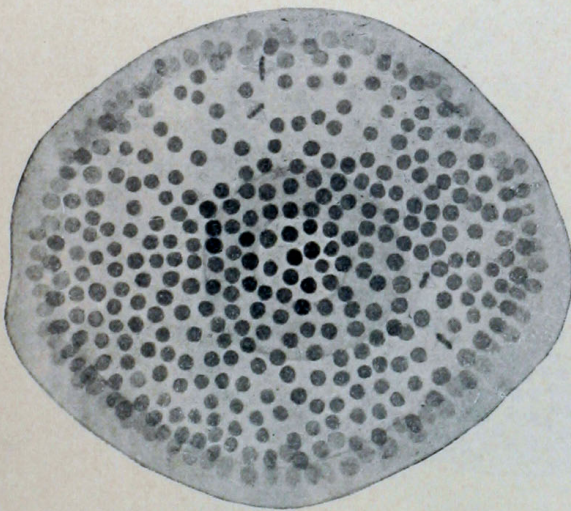


Fig. 73.

Fig. 73. Normale Gastrula von **Strongylocentrotus lividus**, vom animalen (aboralen) Pol gesehen. Nach BOVERI.

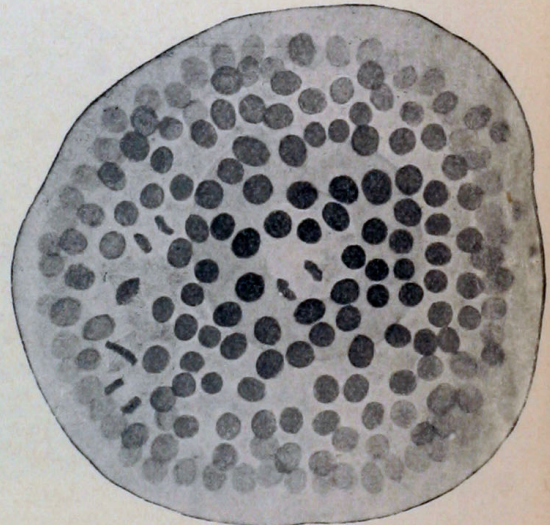


Fig. 74.

Fig. 74. Gleichalterige Gastrula von den gleichen Eltern, nach experimentell erzeugter Verdoppelung der im befruchteten Ei vorhandenen Chromosomenzahl. Nach BOVERI.

ist die Kernoberfläche der Chromosomenzahl direkt proportional. Auch die Größe der Larvenzellen ist eine Funktion der in ihnen enthaltenen Chromatinmenge, und zwar ist das Zellvolumen der Chromosomenzahl direkt proportional. Die Zahl der Larvenzellen ist der in ihnen enthaltenen Chromatinmenge (Chromosomenzahl) umgekehrt proportional.

Ueber die Rolle des Zellkerns, die Beziehungen zwischen Größe des Kerns und Größe der Zelle etc. im Pflanzenreich, vgl. die Arbeiten von HABERLANDT (1887), STRASBURGER (1893), GERASSIMOW (1902, 1904). Auf die Beziehungen zwischen Menge des Protoplasmas und Größe des Kerns bei tierischen Gewebszellen hatte früher schon besonders O. HERTWIG (1893) hingewiesen.

Mit diesen neuen Ermittlungen stimmt die alte Erfahrung überein, daß im allgemeinen kleine Zellen kleine Kerne, große Zellen große Kerne besitzen. Die Oocyten (unreifen Eier) und gewisse Ganglienzellen gehören zu den größten Zellen des Metazoenkörpers. Sie haben auch entsprechend große Kerne. Das Massen-

verhältnis zwischen Kern und Protoplasma, den Quotienten $\frac{k}{p}$ nennt R. HERTWIG (1902) die Kern-Plasmarelation. Diese Kern-Plasmarelation scheint für jede Tierart eine bestimmte, normierte, spezifische zu sein. R. HERTWIG und seine Schüler messen ihr eine sehr große Bedeutung bei. Eine Änderung der Größe des $\frac{k}{p}$ -Faktors, das Eintreten eines Mißverhältnisses zwischen der Masse der Kernsubstanz und der Menge des Protoplasmas bedingen Veränderungen in allen vom Kerne abhängigen Lebensvorgängen der Zellen, sie beeinflussen Assimilation und organisierende Tätigkeit, ebenso gut wie Wachstum und Teilung der Zelle. Werden z. B. Protozoen reichlich gefüttert, so nimmt die Kernsubstanz, verglichen mit der Cytoplasmasubstanz, an Menge stärker zu, der Quotient $\frac{k}{p}$ vergrößert sich. Die Folge davon ist, daß sich die Teilung verlangsamt und daß schließlich bei übermäßiger Vermehrung der Kernsubstanz tiefgreifende Störungen des Lebensprozesses (Depressionsperioden) eintreten, welche den Tod zur Folge haben können.

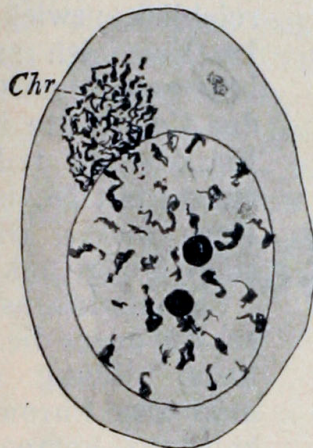


Fig. 75.

Fig. 75. Chromidialmasse (Chr) in der Oocyte von **Paludina vivipara**. Nach POPOFF, 1907.

Fig. 76. Umgebung des Kerns einer Flächenzelle des Oesophagus von **Ascaris lumbricoides**. Der Kern liegt in einer dicht von verschlungenen Chromidialfäden erfüllten Plasmazone. Links ein Muskelfibrillenbündel mit dicken Chromidialsträngen.

Nach RICHARD GOLDSCHMIDT, 1904.

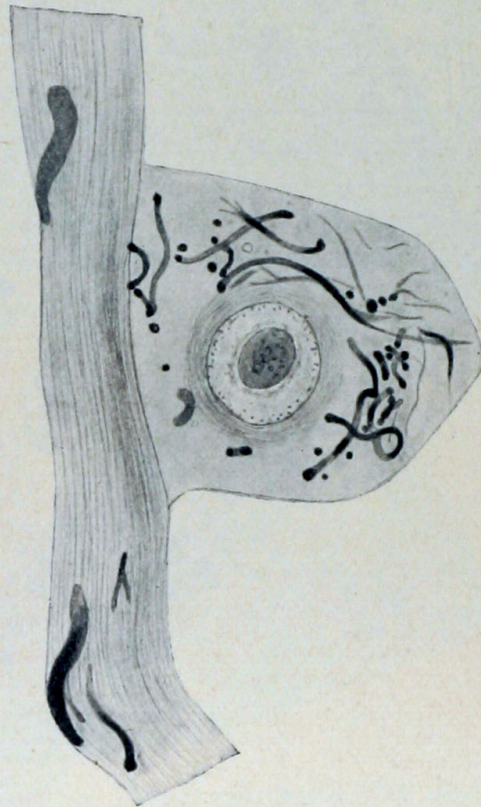


Fig. 76.

„Derartige Tiere resp. Zellen können dann zu normaler Lebenstätigkeit zurückkehren, wenn die Kernmasse verkleinert wird.“ R. HERTWIG macht Veränderungen in der Kernplasmarelation auch für die Bestimmung des Geschlechtes verantwortlich.

1) Chromidien. Chromidialapparat. R. HERTWIG fand bei Protozoen im Cytoplasma, also außerhalb des Kernes, körnige oder fädige Einschlüsse, die bisweilen netzförmig verbunden sind und sich

Farbstofflösungen gegenüber genau so verhalten, wie gewöhnliches Kernchromatin. Diese Einschlüsse nannte er Chromidien. Er konnte sowohl ihre Entstehung aus dem Kern als auch ihre Umbildung zu Kernen beobachten. Für die Metazoen hat vornehmlich GOLDSCHMIDT das Vorkommen solcher extranukleärer Chromidialapparate nachgewiesen. Fig. 75 *Chr* zeigt eine solche aus Chromatinkörnchen und -stäbchen bestehende Chromidialmasse in einer Oocyte der Schnecke, *Paludina vivipara*, während Fig. 76 eine

Muskelzelle aus dem Schlunde des Menschenpulwurm, *Ascaris lumbricoides*, darstellt, in deren Cytoplasma in der Nachbarschaft des Kerns extranukleäres Chromatin in Form von meist stark gewundenen „Chromidialsträngen“ reichlich entwickelt ist. Im Vergleich zur relativ gewaltigen Größe der Zelle, die in der Fig. 76 nur teilweise dargestellt ist, ist der Kern klein. Die geringe Menge nukleärer

Chromatinsubstanz scheint durch die reichliche Bildung extranukleärer Chromidialsubstanz kompensiert zu sein. Die Fig. 77 zeigt uns in sehr instruktiver Weise die Chromidien (Tropho-

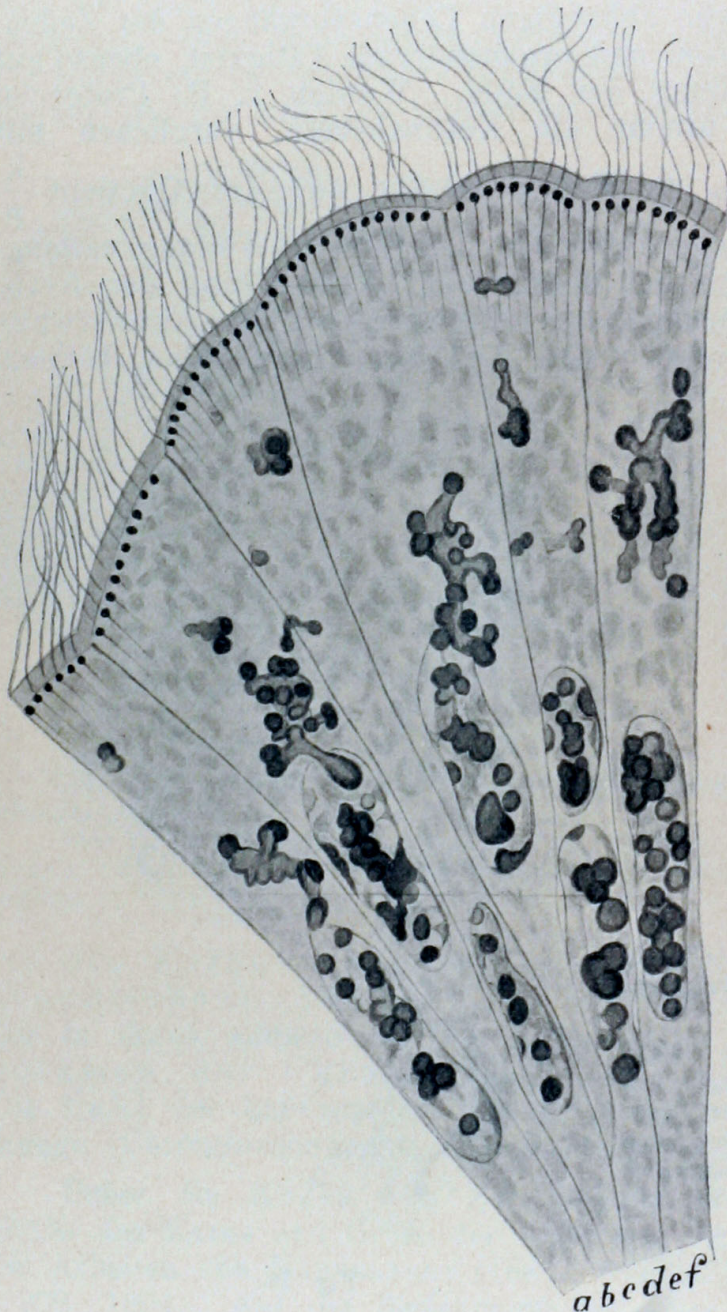


Fig. 77. Lebergangszellen von *Helix pomatia*. Schnitt quer durch den Lebergang, senkrecht zu dessen Längsachse. Cilien mit Basalkörnern und Wurzelfasern. Nach HUBERT ERHARD, 1910.

spongien, HOLMGREN) in den Lebergangszellen der Weinbergschnecke, *Helix pomatia*. In den Zellen *a*, *b* und *d* sieht man die zu unregelmäßigen, knorrigen Strängen verschmolzene, zu Kügelchen verquollene Chromatinsubstanz des Kerns im Begriffe, als Chromidium aus dem bläschenförmigen Kern auszutreten. In der Zelle *f* ist ein extranukleäres Chromidium fertig gebildet.

3) Das Zentralkörperchen oder Centrosoma (Fig. 14, S. 66; Fig. 16 A, S. 68). Dieser Zellbestandteil ist seit ca. 30 Jahren bekannt. Trotzdem ihm eine stets wachsende Aufmerksamkeit zugewendet wurde, ist man zurzeit noch weit von einer allgemein anerkannten morphologisch-physiologischen Definition des Gebildes entfernt, und es ist nichts weniger als sicher, ob alle als Zentralkörperchen (Centrosomen) beschriebenen Gebilde ein und dasselbe Organell darstellen. Unter dem Vorbehalt, daß das meiste noch unsicher ist, wollen wir eine Charakteristik in folgender Weise versuchen. Das Centrosoma ist ein homogenes oder überaus feinschaumig strukturiertes, winzig kleines, kugeliges Gebilde, welches sich mit den Chromatin- und Paranukleinfärbungsmitteln gar nicht oder wenig färbt und ein mit gewissen Färbungsmitteln intensiv färbbares kleinstes Körnchen, das Centriolum, enthält. Es ist von einem Hof einer besonderen, Archoplasma genannten Cytoplasmasubstanz umgeben, die bei der Teilung der Zelle die Strahlungszone bildet. Bisweilen ist es von dem Archoplasma nicht scharf abgesetzt, und dann bezeichnet man den das Centriol umgebenden, dem Centrosoma gleichwertigen Hof von homogenem Protoplasma als Centroplasma (BOVERI). Es liegt im ruhenden Zustand des Kernes diesem gewöhnlich dicht an oder findet sich sogar in einer kleinen Einbuchtung desselben, seltener in seinem Inneren. Bei der Teilung der Zelle teilt sich zuerst das Centriolum, sodann auch das Centrosoma selbst. Diese Teilung erfolgt sehr frühzeitig, schon während der Ruheperiode des Kernes, gewissermaßen einen Bereitschaftszustand für die Teilung herstellend (Diplosoma).

Als Centrosomen wurden vielfach auch die Basalkörper der Cilien und Flagellen (Fig. 77, 78, 79) gedeutet, kleine Körnchen

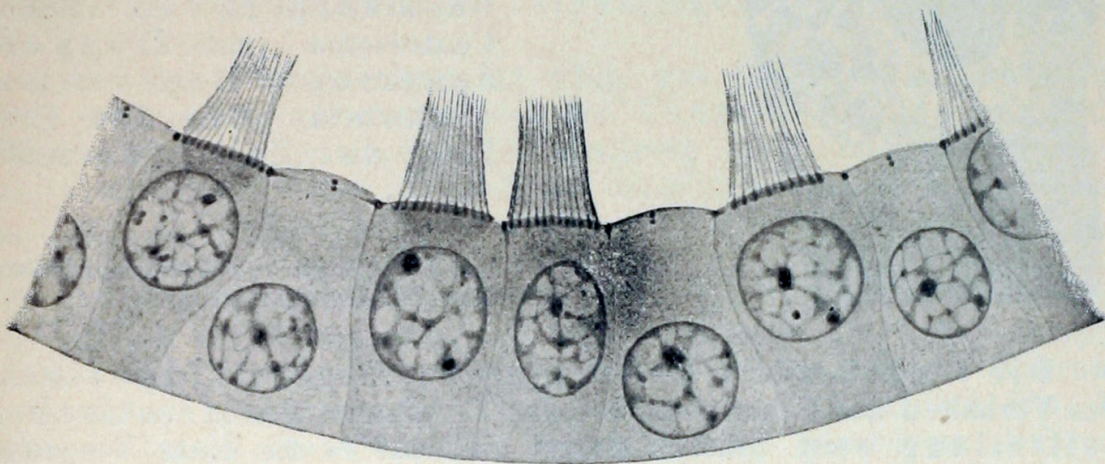


Fig. 78. Flimmerzellen und flimmerlose Zellen, letztere mit oberflächlich gelegenen Zentren (Diplosomen) vom Nebenhoden des Kaninchens. Nach VON LENHOSSÉK aus HEIDENHAIN.

(Granula), die in der Einzahl oder Zweizahl an der in die oberflächliche Plasmaschicht von Epithelzellen eingepflanzten Basis eines jeden Wimperhaares und eines jeden Geißelhaares weit verbreitet vorkommen. Wenn sich zwei solche Basalkörner an der Cilien- oder Flagellenbasis finden, so liegen beide übereinander (ihre ideelle Verbindungslinie steht senkrecht auf dem cilientragenden Zellplateau). Jede Zelle hat also so viele Basalkörper oder Paare solcher, als sie bewegliche Fort-

sätze, Cilien oder Flagellen, besitzt. Von jedem Basalkorn zieht ein Faden, eine Plasmafibrille, gleichsam eine intracelluläre Fortsetzung der Cilien und Flagellen in den Zelleib hinein, am Zellkern vorbei bis zur Zellbasis verlaufend und sich sukzessive mit den benachbarten Fibrillen zu einem Faser- oder Fibrillenkonus vereinigend, den man als ENGELMANNSchen Kegel bezeichnet hat. Diese Fäden werden rein mechanisch als Haftwurzeln, zum Teil auch als Ernährungs- und Reizbahnen gedeutet. Die Auffassung der Basal-

körper als Centrosomen schien durch die Tatsache gestützt, daß bei den beweglichen Spermatozoen das sogenannte Zwischenstück zwischen Kopf (Kern) und Schwanzfaden (Flagellum) ein wirkliches Centrosoma darstellt oder ein solches enthält (Figg. 16, 17, 18, S. 68 u. 69). Auch an der Basis von Pseudopodien wurden den Basalkörnern der Cilien entsprechende Körperchen beobachtet. Gegen die Auffassung der Basalkörner als mit Centrosomen vergleichbarer Gebilde sprechen neue Beobachtungen (WALLENGREN, GUTHEIL u. a.), nach welchen in Wimperzellen neben den Basalkörpern ein echtes Centrosoma (mit Doppelcentriol = Diplosoma) vorkommt, das der Teilung der Zelle vorsteht.

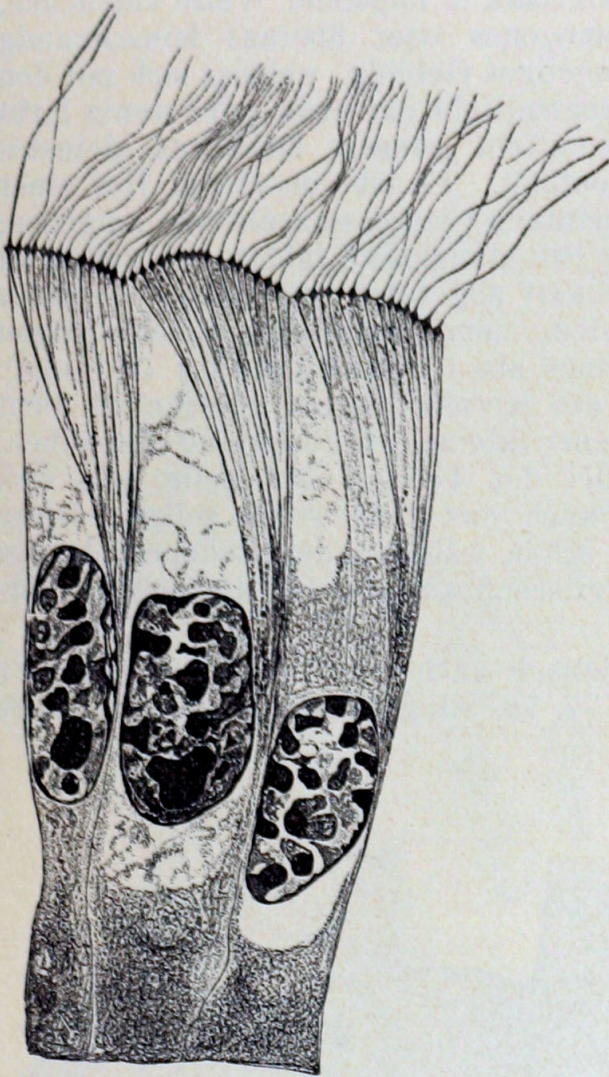


Fig. 79. Drei Flimmerzellen aus den Lebergängen von **Helix hortensis**. Nach M. HEIDENHAIN.

Die funktionelle Bedeutung der Zentralkörperchen. Das Verhalten des Centrosoma bei den Vorgängen der mitotischen Zellteilung weist deutlich darauf hin, daß es die diese Vorgänge begleitenden Bewegungserscheinungen der verschiedenen Zellbestandteile dirigiert. Das Vorkommen und die Lage von Centrosomen oder centrosomenähnlichen Basalkörnern an der Basis der Cilien, Flagellen, Pseudopodien und Schwanzfäden der Spermatozoen, die Lage des Centrosoma in Drüsenzellen zwischen dem Kern und dem angehäuften, durch Kontraktion des umgebenden Cytoplasmas zu entleerenden Drüsensekret, haben dazu geführt, diese Auffassung zu erweitern und das Centrosoma für ein motorisches Zentrum zu halten, welches die Bewegungen des Cytoplasmas im allgemeinen und diejenigen der speziellen motorischen Organellen im besonderen beherrscht und leitet, für ein kinetisches, energetisches oder

dynamisches Zentrum. Es wäre verfrüht, diese Auffassung in ihrem ganzen Umfang für eine sicher begründete zu halten. Für die Basalkörner der Cilien, deren Vergleichbarkeit mit Centrosomen, wie oben bemerkt, allerdings mehr als zweifelhaft ist, wird sie direkt bestritten. HEIDENHAIN beispielsweise hält die Bedeutung dieser Basalkörner als kontraktiles Agens oder als kinetisches Zentrum für ausgeschlossen und betrachtet sie eher 1) als Stütz- und Befestigungsapparat der Cilien und 2) als Reservennahrung für den intensiven Stoffwechsel dieser lebhaft tätigen Organellen.

Sehr stark abweichende Ansichten über den Aufbau und den Chemismus der verschiedenen Zellbestandteile, namentlich über das Centrosoma, die Kernmembran (die als selbständiges Gebilde gar nicht existieren soll), die chromatische Substanz, den Nucleolus usw., hat in letzter Zeit (1910, 1911) STAUFFACHER zu begründen versucht. Die Stellungnahme der cytologischen Forschung zu diesen neuen Auffassungen, die in einigen Punkten an HAECKERS Achromatinhypothese anklingen, bleibt vorerst noch abzuwarten.

B. Protozoen und Metazoen.

Den Protozoen oder Urtieren stellt man mit HAECKEL heute allgemein das gewaltige Heer aller übrigen Tiere als Metazoen gegenüber.

Während die Protozoen selbständig lebende tierische Zellen, anders ausgedrückt, einzellige Tiere, oder zusammenhängende Gesellschaften, sogenannte Kolonien lauter gleichartiger einzelliger Tiere sind, stellen die Metazoen kompliziertere Verbände mehr oder weniger unselbständiger einzelliger Tiere (tierischer Zellen) dar.

Bei den Protozoenkolonien oder, was dasselbe sagen will, bei den mehrzelligen Protozoen ist der Zusammenhang der einzelnen Zellindividuen physiologisch (in Ansehung der Lebensverrichtungen) und morphologisch (mit Rücksicht auf die körperlichen Beziehungen) ein lockerer. Die Zellindividuen sind etwa durch Fortsätze ihres Zellkörpers miteinander verbunden, oder durch eine gemeinsam abgeschiedene, oft gallertige Masse zusammengehalten. Im übrigen übt jedes Zellindividuum auf eigene Rechnung alle Funktionen des Lebens aus, es sichert sich Nahrung, verdaut sie, assimiliert die verdaute Nahrung, reagiert auf erhaltene äußere Reize, wächst und pflanzt sich fort. Es gibt höchstens bei Ueberfluß verdaute oder unverdaute Nahrung an die Nachbarzellen ab. Ein jedes solches Individuum könnte sich oder kann sich aus dem Verbande loslösen oder kann durch experimentellen Eingriff künstlich abgelöst werden, ohne daß dadurch die Existenzfähigkeit des losgelösten Zellindividuums einerseits, des Zellverbandes von dem die Loslösung erfolgte, andererseits, im wesentlichen beeinträchtigt würde.

Anders liegen die Dinge bei den Zellverbänden, die uns als Metazoenleiber entgegentreten. Hier herrscht das Prinzip der Arbeitsteilung. Die zahlreichen Zellindividuen teilen sich in die für das Leben notwendigen Funktionen derart, daß eine Sorte von Zellen diese, eine andere jene Verrichtungen im gemeinsamen

Lebenshaushalt übernimmt, wobei jede Zelle ihre Organisation in der ihrer besonderen Aufgabe adäquaten Weise entfaltet. Wir haben es mit Verbänden zu tun, in denen ungleichartige Zellen vorkommen, in denen unter den Zellindividuen Polymorphismus herrscht. Die Arbeitsteilung in Verbindung mit dem Polymorphismus ermöglicht einerseits eine erhöhte Leistungsfähigkeit eines jeden Individuums für den besonderen Zweck, dem es dient, für den es „Spezialist“ ist, andererseits aber zieht sie notwendig eine mehr oder weniger weitgehende Unselbständigkeit der polymorphen, spezialisierten Individuen voneinander und von der Gesamtheit nach sich und die Gesamtheit ihrerseits wird in ihrer Lebensfähigkeit von der Existenz und der Leistungsfähigkeit der zusammenwirkenden Spezialisten abhängig. Es ist einleuchtend, daß bei physiologischer Arbeitsteilung und Spezialisierung und morphologischer Vielfältigkeit der Zellindividuen eines Verbandes dieser nur bei geordnetem Zusammenwirken sich erhalten konnte und kann. Durch alle diese Faktoren, Arbeitsteilung, Spezialisierung, Polymorphismus und harmonisches Zusammenwirken der Elemente auf Grundlage einer zweckmäßigen, im Gleichgewicht befindlichen Organisation erhebt sich die Zellkolonie auf die höhere Stufe eines Zellenstaates, der einzellige Protozoenorganismus ordnet sich einem höheren Verband, dem Metazoenorganismus unter, es entsteht eine neue höhere Stufe der Individualität, das Metazoenindividuum. In der Tat können wir die wohlgeordneten Staatsverbände, die uns in der Form von Metazoenindividuen, von einzelnen Würmern, Krebsen, Schnecken, Fischen etc. entgegentreten, keiner Kategorie spezialisierter Zellen (Individuen niederer Ordnung) berauben, ohne sowohl diese isolierten, unselbständigen, abhängigen Zellen dem Untergange preiszugeben, als auch den Verband, dem sie entnommen wurden, zu gefährden oder gar zu zerstören.

Der Grad der Arbeitsteilung, der Spezialisierung und der zweckmäßigen Anordnung im Dienste harmonischen Zusammenwirkens und in Verbindung mit einem anderen Hauptfaktor, dem Maße der Sparsamkeit, bildet ein Kriterium der, ich möchte sagen, absoluten Vollkommenheit eines Organismus, während man das Maß, in dem ein Organismus den gegebenen durchschnittlichen Verhältnissen, in denen er lebt, angepaßt ist, als Kriterium der relativen Vollkommenheit verwenden kann.

Wenn wir uns, von der Annahme ausgehend, daß die Metazoen von Protozoenkolonien abstammen, fragen, in welcher Weise sich wohl die erste, älteste Arbeitsteilung innerhalb von Protozoenkolonien geäußert haben möge, so läßt sich die Frage nur durch ganz unsichere Hypothesen beantworten, zu deren Aufstellung man nach Analogie von Vorkommnissen während der ersten Entwicklung von Metazoen, nach Analogie des Körperbaues niederer und sehr einfacher Metazoen (z. B. der Orthonectiden und Dicyemiden) und in Würdigung von Verhältnissen, wie sie sich bei gewissen koloniebildenden pflanzlichen Flagellaten, den Volvociden (Bd. I, Protozoa) finden, gelangen kann.

Man darf gewiß auch mit Fug und Recht auf die Erscheinungen hinweisen, die zutage treten, wenn auf höheren Individualitätsstufen die Koloniebildung durch Arbeitsteilung wiederum in ganz analoger Weise zur Bildung von Staaten führt.

Wie im Bienen- und Ameisenstaat die primäre, fundamentale Arbeitsteilung zur Sonderung der geschlechtlich differenzierten, fruchtbaren, gametenproduzierenden, im übrigen untätigen Fortpflanzungsindividuen von sterilen, geschäftigen Arbeitsindividuen mit verkümmerten Geschlechtsorganen führt, die allein alle Arbeiten im gemeinsamen Haushalt verrichten und auch die Beschützer und Ernährer der gewöhnlich im Baue verborgen sich aufhaltenden Geschlechtsindividuen sind, so dürfen wir annehmen, daß die erste Differenzierung von Protozoenkolonien nach der Richtung der Metazoenorganisation in der Sonderung von untätigen Fortpflanzungsindividuen (Geschlechtszellen) und zur Gründung neuer Kolonien, d. h. zur Fortpflanzung der Art unfähiger, aktiver Haushaltsindividuen (Körperzellen, somatische Zellen) beruhte. Beide Sorten von Zellindividuen waren also ursprünglich gleichwertig und es ist vielleicht die Annahme erlaubt, daß die Geschlechtszellen anfänglich nur nicht zur Aktion gelangende, nicht ins Vordertreffen tretende Reservezellen waren, die hinter der Front, im Inneren der Kolonie zurückbleibend, in Bereitschaftstellung verharrten, um im geeigneten Momente die sich aufreibenden und abarbeitenden oder durch äußere schädigende Einwirkungen zugrunde gehenden somatischen Zellen zu ersetzen. Dadurch, daß solche inaktive, von den somatischen Zellen ernährte, gedeckte Regenerations- und Reproduktionszellen vor allem auch die Fähigkeit beibehielten, isoliert von der Kolonie in Tätigkeit zu treten und durch fortgesetzte Teilung ein neues Heer von aktiven und inaktiven Zellindividuen zu liefern, erhielten sie die Bedeutung von Fortpflanzungszellen.

In der modernen Wissenschaft der Entwicklungsphysiologie oder Entwicklungsmechanik (ROUX, OSK. HERTWIG, DRIESCH u. a.), welche sich die Aufgabe stellt, die in der Entwicklung der Tiere aufeinanderfolgenden Formzustände, das Differentwerden und Sichorganisieren der Zellverbände, der Zellen und ihrer Organellen kausal-mechanisch auf die als gegeben angenommene Beschaffenheit des Eies (innere Faktoren) und die sukzessive Einwirkung äußerer Faktoren zurückzuführen, unterscheidet man (DRIESCH) die prospektive Bedeutung und die prospektive Potenz der Zellen. Es handelt sich dabei in erster Linie um Blastomeren oder dann um Embryonalzellen späterer Stadien der Entwicklung. Die prospektive Bedeutung einer Embryonalzelle wird durch das charakterisiert, was aus ihr im Verlaufe der ungestörten Entwicklung normalerweise wird, während die prospektive Potenz nach dem bestimmt wird, was aus einer Zelle unter verschiedenen, durch äußere Zufälle oder experimentelle Eingriffe bedingten anormalen Verhältnissen werden kann. Im vorliegenden Fall der Reservezellen (Regenerations- und Reproduktionszellen) würde sich ihre uneingeschränkte prospektive Bedeutung mit ihrer uneingeschränkten prospektiven Potenz decken.

Von den somatischen Zellen hingegen wollen wir annehmen, daß sowohl ihre prospektive Bedeutung (diese mehr) als ihre prospektive Potenz (diese weniger) eingeschränkt war. Die erstere war dadurch charakterisiert, daß die somatischen Zellen des Organismus während der ganzen Dauer des Lebens die Rolle beibehielten, ihre normalerweise infolge ihrer Funktion untergehenden Geschwister unter Teilungserscheinungen zu ersetzen, während ihre umfassendere prospektive Potenz darin be-

ruhte, daß sie die Fähigkeit beibehielten, größere oder kleinere Defekte unter reichlicheren Zellteilungen zu reparieren. Reservezellen und somatische Zellen gehören nicht mehr, um einen weiteren Ausdruck der Entwicklungsmechanik zu gebrauchen, zu einem „äquipotenziellen System“.

Der Potenz nach blieben allerdings lange Zeit die somatischen und die Fortpflanzungszellen gleichwertig und nur die Lage, die zufälligen Beziehungen zu der Außenwelt und zu den übrigen Individuen der Kolonie waren anfänglich die entscheidenden Momente, die aus Zellindividuen in dem einen Falle aktive somatische Zellen, in dem anderen ruhende Fortpflanzungszellen werden ließen. — Nach dem Gesagten können wir uns ein niederstes Metazoon in Anlehnung an HAECKEL etwa folgendermaßen vorstellen.

C. Schema der niedersten Metazoenorganisation.

Der Blastaea-Typus (Fig. 80, S. 135).

Der Körper bildet eine ellipsoidische, wie wir annehmen wollen freischwimmende, Kolonie von Zellen, die in eine von ihnen gemeinsam ausgeschiedene Gallertmasse (in der Figur schwarz) eingebettet sind, welche ein etwas geringeres spezifisches Gewicht als Wasser besitzt. Es sind 2 Hauptsorten von Zellen vorhanden. An der Oberfläche der Kolonie finden sich Zellen, die mit den einem Protozoon zukommenden Organellen (für die Lokomotion, die Nahrungzufuhr, Verdauung, Exkretion etc.) ausgerüstet sind, die aber, obschon sie anfänglich noch die Fähigkeit haben, eine beschränkte Zahl von Generationen von ihresgleichen zu erzeugen, doch isoliert für sich, sobald sie jene Organellen schon entwickelt haben, nicht mehr imstande sind, eine ganze Kolonie aus sich hervorgehen zu lassen. Diese Zellen sind die somatischen Zellen, sie besorgen alle Verrichtungen des sogenannten vegetativen Lebens der Gesamtkolonie.

Abgerückt von der Oberfläche, im Zentrum der Kolonialgallerte, finden sich Zellindividuen von indifferentem Charakter, welche, obschon sie die Anlagen für die Differenzierung sämtlicher Organellen enthalten, diese Anlagen nicht zur Entfaltung bringen. Sie verharren in einem inaktiven Zustande und werden von den somatischen Zellen ernährt und geschützt. Insofern sie die sämtlichen Anlagen eines Protozoenkörpers latent enthalten, verharren sie gewissermaßen auf einem embryonalen Zustande. Es sind die Regenerations- und Fortpflanzungszellen.

Beim Untergang der einzelnen somatischen Zellen, der eine normale Folge ihrer Arbeitsleistung ist, werden sie von benachbarten lebenskräftigeren Somazellen aus ersetzt, die sich zu diesem Zwecke verjüngen. Die Verjüngung oder Entdifferenzierung besteht darin, daß sie ihre spezifischen Organellen rückbilden und resorbieren und daß ihr Plasma sich der verschiedenen Einschlüsse entledigt. Die so verjüngte, zu einem undifferenzierten Zustande zurückgekehrte Zelle teilt sich. Ihre Tochterzellen bilden wieder neue Organellen, und es treten in ihrem Protoplasma wieder neue Einschlüsse als Produkt der Assimilation, Dissimilation und Sekretion der Zelle auf. Der natürlich-normale Abgang wird so beständig ersetzt. Gehen kleinere mehrzellige Fragmente infolge äußerer

schädigender Einflüsse zugrunde, so geschieht die Reparation des Defektes (Wundheilung) auf dem nämlichen Wege, durch Verjüngung der zurückbleibenden Zellen der Nachbarschaft und nachfolgende fortgesetzte Teilung derselben.

Wenn große Stücke des Körpers durch gewaltsame äußere Einwirkungen zerstört werden, so reicht der Ersatz durch Nachkömmlinge einzelner sich verjüngender Zellen des Wundrandes nicht aus. Es verjüngen, es entdifferenzieren sich ganze Zellterritorien und liefern das Regenerat, und es treten vor allem die benachbarten Reservezellen als Regenerationszellen (Neoblasten) von großer Leistungsfähigkeit in Aktion.

Die Neubildung nach erfolgter Entdifferenzierung von Zellen oder Zellkomplexen, welche bereits funktioniert haben, spielt im allgemeinen gegenüber der Neubildung aus indifferent gebliebenen Zellen oder Zonen im Tierreich eine geringere Rolle. Zellteilungen werden während der Entwicklung von Geweben überall in denselben angetroffen; haben aber die Zellen oder Zellkomplexe ihre spezifischen Organellen schon gebildet und haben sie zu funktionieren begonnen, so sind ihre Teilungen ebenso selten wie früher häufig oder sie kommen (Ganglienzellen, Sinneszellen) für gewöhnlich überhaupt nicht mehr vor. Vielmehr sieht man sich dann in den Geweben und Organen an bestimmten, zweckmäßig gelegenen, ihre Funktion nicht störenden Stellen Indifferenzzonen erhalten, auf welche die Zellteilungserscheinungen beschränkt sind und von denen sowohl der normale Ersatz als die typische Regeneration und auch die atypische, pathologische Proliferation (Geschwulstbildung) ausgeht. Vgl. besonders die Abhandlungen von SCHAPER (1902, 1905).

Wenn sämtliche somatischen Zellen aus Erschöpfung oder aus äußeren Ursachen zugrunde gehen (Tod des Metazoenkörpers), so fangen jene inaktiven Zellen an, sich zu vermehren. Eine jede Zelle läßt durch fortgesetzte Teilungen wieder eine neue ganze Kolonie (ein ganzes Metazoenindividuum) aus sich hervorgehen, wobei die meisten, nämlich die an die Oberfläche tretenden Zellen, als somatische Zellen ihre Anlagen entfalten und in Aktion treten, während die in die Tiefe zu liegen kommenden inaktiv bleiben, die Anlagen der Organellen im latenten Zustande aufbewahren. In diesem Falle spielen die inaktiven Zellen die Rolle von Fortpflanzungszellen.

Aus dieser Betrachtung würde sich der Satz von umfassender Tragweite ergeben, daß Regeneration und Entwicklung (Bildung neuer Metazoenindividuen aus Fortpflanzungszellen) bei den Metazoen nur verschiedene Formen einer und derselben Grunderscheinung sind.

Die inaktiven Reservezellen liefern als Regenerationszellen Flickarbeit, als Fortpflanzungszellen besorgen sie eine so gründliche Reparatur, daß das alte Kleid durch ein zwar ganz ähnliches, aber ganz neues ersetzt wird, eine vollkommene Restitutio in integrum.

Das gesamte Soma ist nur eine vorübergehende Hülle, in der die Anlagen eines dauernden Stockes von spezifisch beanlagten Zellen in die Erscheinung treten. Aufgabe der sich von Zeit zu Zeit ablösenden, sterblichen Hüllen ist es, durch die elementaren Leistungen

der Ernährung und des Schutzes das spezifische Leben vermittelt der überlebenden Reservezellen dauernd zu erhalten (Erhaltung der Art).

Wir können annehmen, daß bei der hypothetischen ältesten Metazoenform somatische und Fortpflanzungszellen der Anlage nach, also potentiell, gleichwertig waren und daß diese Gleichwertigkeit sich auch noch bis auf junge Stadien der somatischen Zellen erhielt, so daß eine jede ganz junge somatische Zelle noch fähig war, für sich isoliert, nach Art von Fortpflanzungszellen durch fortgesetzte Teilung ein neues Metazoenindividuum zu bilden (unbeschränkte prospektive Potenz). Bei längerer Dauer der Arbeitsleistung aber verlor sich diese Fähigkeit bei den somatischen Zellen und reduzierte sich vielleicht auf das Vermögen, unter Verjüngung durch einige Male wiederholte Teilungen ihres gleichen zu liefern. Eine analoge Erscheinung findet sich in den Staaten der Hymenopteren, die eine höhere Individualitätsstufe darstellen, wo aus einem in eine Arbeiterzelle abgelegten Arbeiterin immer noch ein fruchtbares Weibchen (Königin) erzogen werden kann, wenn dem sich entwickelnden Embryo oder der jungen Larve reichlichere Nahrung von der Qualität derjenigen zugeführt wird, mit welcher die Bienen die Königinnenzellen ausrüsten. In vorgerückteren Stadien der Metamorphose ist eine solche künstliche Beeinflussung der Entwicklungsrichtung aber nicht mehr möglich.

Die fundamentale ursprüngliche Uebereinstimmung von Regenerations- und Fortpflanzungsvermögen tritt dann noch deutlicher hervor, wenn man sich erinnert, daß es Organismen gibt, deren weibliche Fortpflanzungszellen ohne vorhergegangene Befruchtung sich entwickeln können (Parthenogenesis).

Ueber den ursprünglichen strukturellen, d. h. morphologischen Unterschied zwischen inaktiven Fortpflanzungs- und Regenerationszellen einerseits und aktiven, somatischen Zellen andererseits legen die Tatsachen der vergleichenden Zellenlehre folgenden Gedanken nahe. Die somatischen Zellen waren den gewöhnlichen Zellindividuen irgendeiner Protozoonkolonie gleichwertig, d. h. mit jenen verschiedenen Organellen ausgerüstet, die bei einem Protozoon im Dienste des vegetativen Lebens (der Nahrungszufuhr, der Cyclose, der Verdauung, der Defäkation, der Exkretion, der Atmung, der Kontraktion, der Lokomotion etc.) stehen. Man kann sich also das Soma eines einfachsten Metazoon als eine Sarcodinen- oder Flagellaten- oder Ciliaten etc. -Kolonie vorstellen.

Von den Fortpflanzungs- und Regenerationszellen hingegen hat man anzunehmen, daß an ihnen besondere vegetative Organellen nicht ausgebildet, daß sie vielmehr undifferenzierte kuglige Zellen waren, höchstens mit dem Vermögen amöboider Formveränderung ausgestattet.

Gegenüber dieser Betrachtung von prinzipieller Bedeutung vermögen wir der speziellen Frage nach der besonderen Beschaffenheit der somatischen Zellen nur eine untergeordnete Bedeutung beizumessen. Es ist wahrscheinlich, daß sich erdgeschichtlich zu oft wiederholten Malen koloniebildende Protozoen der verschiedensten Abteilungen durch Arbeitsteilung auf die Stufe von Metazoen erhoben haben, und es ist möglich, daß mehrere Abteilungen der uns bekannten niedersten Metazoen selbständig aus verschiedenen Protozoengruppen hervorgegangen sind.

Lediglich um ein Schema zu konstruieren, wollen wir einer hypothetischen niedersten Stammform der Metazoen, der Blastaea, folgende Organisation (Fig. 80) zuschreiben, für deren Konstruktion wir uns den Bau von *Volvox* in vieler Beziehung als Muster nehmen, nur daß wir ihr eine tierische Ernährungsweise zuschreiben.

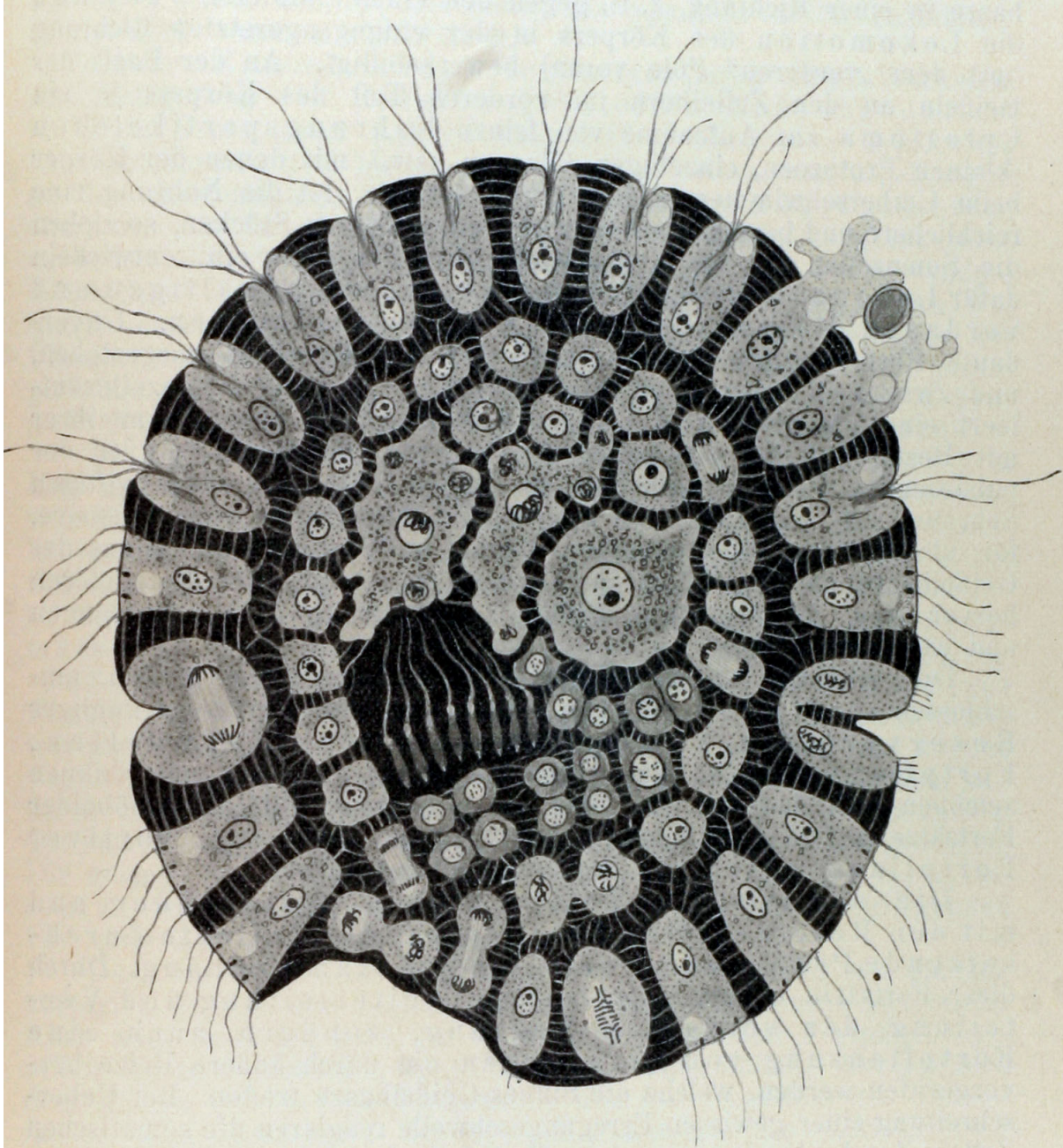


Fig. 80. Schematische Darstellung einer erdachten niedersten Metazoenorganisation auf der Blastaeastufe. Für die Erklärung siehe Text. Die von protoplasmatischen Verbindungsfäden der Zellen durchzogene Gallerte ist schwarz dargestellt. Hinten ein Defekt am Körper, der einerseits von den benachbarten Epithelzellen, anderseits von den in der Tiefe liegenden Regenerationszellen aus repariert zu werden beginnt. Original.

Die somatischen Zellen (Protozoenindividuen) sind der gallertigen strukturlosen Grundsubstanz oberflächlich in einschichtiger Lage eingebettet. Eine solche Aneinanderlagerung von Zellen an einer Oberfläche nennt die Lehre von den Zellen und den aus Zellen gebildeten Geweben ein Epithel- oder Oberflächengewebe. Im vor-

deren Bezirk des Körpers besitzt jede solche Zelle an der freien, nach außen gerichteten Oberfläche bewegliche Geißelhaare (Flagellen), so daß der Vorderteil des Tieres an der ganzen Oberfläche mit Geißeln besetzt ist. Am mittleren und hinteren Bezirk des Körpers sind die Geißelhaare zellreicher, cilienähnlich. Durch das Schlagen der Geißelhaare in einer Richtung, z. B. gegen den einen („hinteren“) Pol, wird die Lokomotion des Körpers in der entgegengesetzten Richtung (mit dem „vorderen“ Pole voran) bewerkstelligt. An der Basis der Geißeln an den Zelleibern im vorderen Teil des Körpers je ein Cytostoma zur Aufnahme von feinen Nahrungspartikelchen (kleinen Protozoen, einzelligen Pflanzen usw.), mit denen der Körper beim Umherschwimmen in Berührung kommt. Ist die Nahrung eine reichlichere und besteht sie namentlich aus größeren Stücken, so ziehen die Somazellen an der Kontaktstelle ihre Flagellen ein, entwickeln dafür Lobopodien oder Pseudopodien, und bewältigen und verdauen die Nahrung nach Art von Sarcodinen. Unverdaute Reste werden ebenfalls nach Art der Sarcodina ausgestoßen, und zwar nach außen über Bord geworfen. In jeder Somazelle entleert eine pulsierende Vakuole ihren Inhalt ebenfalls an ihrer mit Bezug auf den Blastaeakörper äußeren Oberfläche. Außer der pulsierenden Vakuole enthalten die Zellen Tröpfchen eines giftigen Sekretes, das, auf Reize hin ausgespritzt, für Feinde eine defensive, für kleine Beute eine offensive, lähmende Wirkung hat. Eines der Geißelhaare an den Zellen am Vorderkörper ragt über die anderen hervor und ist besonders befähigt, äußere Reize zu empfangen und weiter zu leiten.

Die von der oberflächlichen Schicht somatischer Zellen umschlossene zentrale Gallerte enthält eine Menge größerer kugliger Reservezellen, Regenerationszellen, Keimzellen, Fortpflanzungszellen. Einzelne stärkere Zellen unter ihnen zeichnen sich dadurch aus, daß sie sich unter Bildung amöboider Fortsätze auf Kosten benachbarter, minder kräftiger, abortiver Fortpflanzungszellen ernähren und vergrößern.

Die somatischen Zellen stehen miteinander und mit den Reservezellen durch feine, die Gallerte durchsetzende Protoplasmafortsätze in Zusammenhang. Durch diese Fortsätze erfolgt nicht nur eine Weiterleitung und Verteilung der verdauten Nahrung, sondern auch eine Fortpflanzung von Erregungen die durch äußere Reize hervorgerufen werden, welche die Sinnes-Geißelhaare treffen. Bei Ueberschreitung einer gewissen Erregungsschwelle reagieren die somatischen Zellen durch Aenderung, etwa Umkehr, der Schlagerichtung ihrer Geißeln, wodurch eine Fluchtbewegung zustande kommt.

Von den Reservezellen spielen die oberflächlichen vorwiegend die Rolle von Regenerationszellen (Neoblasten), die übrigen sind die Fortpflanzungszellen. Je nach der besonderen Ausbildung dieser Fortpflanzungszellen sind verschiedene Generationen unserer Lebewesen zu unterscheiden. Bei den einen Generationen sind die Fortpflanzungszellen Parthenogonidien (vgl. Volvox, Bd. I). Beim jeweiligen Absterben und Zerfall des Soma werden sie frei und entwickeln sich direkt weiter zu neuen Blastaeaindividuen. Von Zeit zu Zeit, unter dem Einfluß oder der Induktion besonderer Existenzbedingungen, vielleicht bei Nahrungsmangel, treten geschlechtliche Generationen auf.

deren Fortpflanzungszellen als Gameten konjugations-, oder, was dasselbe sagen will, befruchtungsbedürftig sind. Da der Unterschied von Makrogameten und Mikrogameten schon bei den Protozoen (siehe dieses Handbuch, 1. Bd., sowie 2. Bd., HAECKER, Zeugungslehre, S. 62) weitverbreitet zu konstatieren ist, so dürfen wir auch schon der hypothetischen Blastaea eine solche Ausbildung gesonderter Gameten zuschreiben.

Gewisse Keimzellen (Oogonien) werden durch starkes Wachstum und Ablagerung von Reservennährstoffen (Nahrungsdotter) in ihrem Protoplasma (infolge phagocytärer Ernährung auf Kosten benachbarter abortiver Keimzellen) und unter Reduktionserscheinungen an der chromatischen Substanz ihres Kernes zu Makrogameten, oder, um die für die Metazoen übliche Bezeichnung zu gebrauchen, zu befruchtungsfähigen und befruchtungsbedürftigen Eiern. Andere Keimzellen hingegen (Antheridien oder Spermatogonien) liefern durch rasch fortgesetzte Teilungen und unter Reduktion der Chromatinelemente auf die Hälfte eine größere Zahl kleiner, protoplasmaarmer, je ein langes, bewegliches Flagellum bildender Mikrogameten, Spermien oder Spermatozoen (Samenfäden).

Die Differenzierung der Fortpflanzungs- oder Geschlechtszellen in Eier und Spermatozoen ist selbst wieder lediglich aus dem Gesichtswinkel der Arbeitsteilung zu betrachten. Die großen nahrungsdotterhaltigen Eier übernehmen die Aufgabe, zur Gründung eines neuen Zellenstaates (eines Metazoenindividuums) das nötige Baumaterial zu liefern und verzichten auf die Beweglichkeit. Die Spermatozoen (Spermien) hingegen verzichten auf die Beibringung von Baumaterial, sie stellen sich durch Ausbildung eines kräftigen Flagellums in den Dienst der Beweglichkeit, werden in ihren Bewegungen nicht durch einen schweren Plasmaleib gehemmt und können wegen ihrer geringen Größe in großer Anzahl produziert werden, wodurch die Chancen vermehrt werden, daß wenigstens einzelne an den Ort ihrer Bestimmung, zu den befruchtungsbedürftigen Eiern gelangen. Die geringe Größe erleichtert außerdem das Eindringen der Spermatozoen in den Körper anderer Individuen und in die dort bereitliegenden Eier zum Zwecke der Befruchtung.

Dem inneren Wesen nach, d. h. was die Ausrüstung mit Anlagen anbetrifft, blieben und bleiben die Eier und Spermatozoen äquivalent. Auch wenn man bei zwei der Form nach differenten Fortpflanzungszellen die so verschieden ausgebildeten Cytoplasmaleiber vertauschen, dem Eikern die dürftige Plasmahülle und das Flagellum des Samenfadens, dem Spermakern den üppigen Plasmaleib des Makrogameten zuteilen würde, würde weder die Befruchtung verunmöglicht, noch die Entwicklungsrichtung nach erfolgter Befruchtung geändert werden.

In weiterer Schematisierung der bei koloniebildenden Einzelligen (Volvociden) und bei Metazoen gewonnenen Erfahrungstatsachen dürfen wir bei den verschiedenen Formen des Blastaeatypus bezüglich der Erzeugung der Eier und Spermatozoen ein verschiedenes Verhalten annehmen. Bei den einen bestand die Geschlechtsgeneration aus hermaphroditischen Individuen, d. h. solchen, die in dem zentralen Haufen von Geschlechtszellen (Keimdrüse, Gonade) sowohl Eier als Spermien erzeugten (Zwitterdrüse). Bei den anderen erstreckte sich die Arbeitsteilung, die zur Differenzierung männlicher und weiblicher Geschlechtszellen führte, auch auf die sie

erzeugenden Individuen, so daß die einen Individuen (die Männchen) in ihrer Gonade (Hoden, Spermarium) nur Spermatozoen, die anderen (die Weibchen) in ihrer Keimdrüse (Eierstock, Ovarium) nur Eier produzierten.

Der hypothetische erdgeschichtliche (phylogenetische) Vorgang der Differenzierung der Geschlechter wäre nach dem Gesagten — diese Anschauung kann nach dem gegenwärtigen Stand der Wissenschaft als sicher begründet gelten — gerade umgekehrt, als die historische Bildung der Begriffe und Bezeichnungen für die Geschlechter. Die letzteren bezogen sich auf die hochstehenden Metazoen, in erster Linie den Menschen, bei denen sich die Individuen, welche verschiedene Gameten produzieren, auch äußerlich, durch die sogenannten sekundären Geschlechtsmerkmale unterscheiden. Der auffällige äußere Unterschied von Männchen und Weibchen wurde dann auch auf das innere Wesen der beiderlei Gameten übertragen. Es genügt der Hinweis auf die irrtümliche populär-symbolische Auffassung, wonach bei der Befruchtung „der Same in ein fruchtbares Erdreich fällt“.

Für den Fall des hermaphroditischen Zustandes der Geschlechtergeneration dürfen wir ferner die Annahme machen, daß sich die Spermatozoen und die Eier nicht gleichzeitig entwickelten, daß also eine Selbstbefruchtung ausgeschlossen war.

Was die Art und Weise betrifft, in der die Geschlechtszellen frei wurden, dürfen wir uns vorstellen, daß das im allgemeinen durch Absterben und Zerfall des Somas geschah. Doch bietet auch die Annahme keine Schwierigkeiten, daß der Zerfall des Somas der Weibchen (ihr Tod) erst nach erfolgtem Eindringen der Spermatozoen und nach erfolgter Verbindung derselben mit den reifen Eizellen (Befruchtung) erfolgte.

Nach einer wissenschaftlich wohlbegründeten Ansicht liegt eine Hauptbedeutung der Befruchtung in der dabei stattfindenden Vermischung individuell verschiedener Qualitäten bzw. erblicher Anlagen (Amphimixis), wobei stets neue vorteilhafte und lebenskräftige Kombinationen neben indifferenten oder sogar unzweckmäßigen zustande kommen, die zweckmäßigen, welche Selektionswert besitzen, aber größere Chance haben zu überleben, als die unzweckmäßigen, welche der Kampf ums Dasein immer wieder ausjätet. Wenn sich dies so verhält, so ist die Befruchtung nicht eine absolut notwendige, sondern nur eine in dem Maße bedeutungsvolle Erscheinung, als sie für die Erhaltung der Art nützlich ist. Nun ist aber eine Qualitätenmischung, ein Austausch erblicher Anlagen zwischen erwachsenen Metazoenindividuen nicht möglich, sondern „Mischen kann sich Organisches nur im Zustand der Zelle“ (BOVERI). Von diesem Gesichtspunkte aus ist es verständlich, daß neue Metazoenindividuen nicht ausschließlich auf sogenanntem ungeschlechtlichen Wege aus größeren Bruchstücken elterlicher Organismen unter nachfolgender Regeneration entstehen, daß vielmehr das höhere organische Leben periodisch zum Zwecke der Amphimixis wieder auf die Protozoenstufe der einfachen Zelle zurückkehrt. Alles spricht dafür, daß es in dieser periodischen Rückkehr auf die Stufe eines konjugationsfähigen Protozoon in der erdgeschichtlichen Lebensbahn der Metazoen vom Anbeginn ihrer Evolution aus den Protozoen an niemals eine längere Unterbrechung gegeben hat. Hieraus und aus der Würdigung des die Organismenwelt beherrschenden Gesetzes der Vererbung, mit vor-

läufigem Ausschluß der auch auf die Entwicklung umgestaltend wirkenden Faktoren der Variation und Selektion, würde sich ohne weiteres ergeben, daß bei der jeweiligen Neubildung eines Metazoenorganismus, bei dieser „Restitutio ab ovo in integrum“, derselbe Weg verfolgt wird, auf welchem das betreffende Metazoon erdgeschichtlich zustande kam. Wir gelangen so zu dem Rekapitulationssatze, der von HAECKEL als „biogenetisches Grundgesetz“ formuliert wurde: Die Ontogenie oder individuelle Entwicklungsgeschichte ist eine rasche Wiederholung der Phylogenie oder Stammesgeschichte. (Vgl. hierüber auch Abschnitt I dieses Bandes, Logisches und Methodisches, S. 33.) Unter individueller Entwicklungsgeschichte, Ontogenie oder Embryologie versteht man dabei den Verlauf der auf sukzessiven räumlich und zeitlich normierten Zellteilungen und auf Differenzierungen zwischen den Zellen und innerhalb derselben beruhenden Vorgänge, die aus einer Eizelle ein erwachsenes Metazoon hervorgehen lassen; unter Phylogenie oder Stammesgeschichte hingegen die hypothetische Reihe von Veränderungen, die im Verlaufe der Erdgeschichte sukzessive an den erwachsenen Vorfahren einer Tierform aufgetreten sein mögen, beispielsweise zuerst die Bildung einer weniggliedrigen Protozoenkolonie, dann die Zunahme ihrer Gliederzahl, die bestimmte Anordnung und Gruppierung der Glieder, dann das erste Auftreten einer Arbeitsteilung, Sonderung der Geschlechtszellen und der Keimzellen, Uebergang der Protozoenkolonie auf die Stufe eines Protozoenstaates (eines Metazoenindividuums), fortschreitende Arbeitsteilung und Differenzierung innerhalb des Somas sowohl als des Gonadengewebes usw.

Die Berechtigung zur Aufstellung phylogenetischer Hypothesen, die unser wissenschaftliches Bedürfnis nach bestimmten Vorstellungen über die erdgeschichtliche Entwicklung der Organismenwelt mehr oder weniger befriedigen, immer unter der Voraussetzung natürlichen, erfahrungsgemäßen Geschehens, leiten wir vornehmlich aus den Tatsachen der Morphologie der lebenden und ausgestorbenen Tierformen und ihrer Chronologie ab. Diese lehren, daß einerseits heutzutage noch neben hochentwickelten Formen niedere in größter Mannigfaltigkeit und auf allen möglichen Abstufungen der Ausbildung und Komplikation vorkommen, die uns entsprechende Vorfahrenformen zum mindesten als denkmöglich erscheinen lassen, und daß andererseits in der Erdgeschichte tatsächlich der Tierwelt bestimmter Epochen in früheren Perioden eine Fauna von Tieren mit anders und vielfach primitiverer Ausprägung des nämlichen Organisationstypus vorausgegangen ist, deren Reste uns in versteinertem Zustande erhalten sind.

Wenn die Amphimixis eine so große physiologisch-biologische Bedeutung hat, daß sie die Tiere — sit venia verbo — zwingt, immer und immer wieder auf ihren phylogenetischen Ausgangspunkt zurückzukehren, immer wieder von vorne anzufangen, so ist doch ersichtlich, daß uns eine solche Amphimixis bei der bloßen Regeneration somatischer Körperteile, denen nur eine kurze, vorübergehende Lebenstätigkeit beschieden ist, als eine unnütze Komplikation erscheinen würde.

**D. Schema eines primitiven dreischichtigen Metazoenorganismus.
Der Gastraea-Typus (Fig. 81, S. 144).**

Wir halten uns bei der Aufstellung dieses Schemas vorwiegend an die bekannte Organisation der heute lebenden Hydroidpolypen. Doch stellen wir uns die entsprechende hypothetische Stammform nicht festsetzend, sondern freischwimmend vor. Es ließen sich viele Gründe dafür anführen, daß folgende Vorstellung von der Weiterentwicklung der hypothetischen Blastaea, eine Vorstellung, die im wesentlichen eben nur auf der Annahme einer weitergehenden Arbeitsteilung in der Richtung der höheren tierischen Organisation beruht, zulässig ist.

Der vordere Bezirk der somatischen Zellschicht (des Somaepithels) der Blastaea übernimmt immer ausschließlicher ernährende und verdauende Funktionen. Er bekommt eine Einsenkung, die beginnende Darmhöhle, die immer tiefer wird. Dadurch wird die Blastaea zur Gastraea. Eine plausiblere Hypothese als diese in HAECKELS berühmter Gastraeatheorie begründete Annahme läßt sich auch heute noch nicht aufstellen. Das Charakteristische der Metazoenorganisation besteht in allererster Linie auch in dem Vorhandensein eines Darmes, in welchem die von außen aufgenommene Nahrung verdaut und resorbiert wird. Die Entstehung einer solchen Vorrats- und Verdauungskammer, in welcher ungestört durch äußere Einflüsse und unbehelligt durch anderweitige Funktionen die Wandzellen sich ausschließlich der chemischen Bearbeitung der aufgenommenen Nahrungsstoffe widmen, kann man sich in der Tat am einfachsten und natürlichsten durch eine Einsenkung der schon im Dienste der Nahrungsaufnahme stehenden vordersten Region des Soma der Blastaea vorstellen. Jeder Schritt in der Richtung der fortschreitenden Vertiefung der Einsenkung war ein Fortschritt, eine Verbesserung. Dabei blieb die Kommunikation mit der Außenwelt durch die Einstülpungsöffnung, den Mund, zu jeder Zeit intakt und funktionsfähig.

Wichtige Stützen der Gastraeatheorie liefern die vergleichende Ontogenie und die vergleichende Anatomie. Die erstere zeigt, daß die im Tierreich am weitesten verbreitete Keimform, die Urdarmlarve oder Gastrula, im wesentlichen einer eingestülpten Blastaea entspricht und daß viele nach verschiedenen Richtungen anscheinend stark abweichende Keimformen auf den Typus der Gastrula zurückgeführt werden können. Die vergleichende Anatomie aber belehrt uns darüber, daß gewisse niedere Metazoen, wie z. B. die Hydrozoen, im erwachsenen Zustande Variationen und Modifikationen eines Typus darstellen, welcher im wesentlichen einer eingestülpten Blastaea, d. h. unserer Gastraea entspricht.

Dadurch, daß ausschließlich die Zellen des eingesenkten oder eingestülpten Somaepithels, d. h. die nunmehrigen Darmepithelzellen, die ernährenden Funktionen übernehmen, werden die außen an der Körperoberfläche bleibenden Zellen des nicht eingestülpten Somaepithels, die Zellen des nunmehrigen Körperepithels entlastet und können sich ausschließlich den übrigen Verrichtungen des Körpers widmen, besonders solchen, die der Natur der Sache nach an die Oberfläche gebunden sind.

Durch die Einstülpung des Ernährungsepithels kommt die Masse der Keimzellen zwischen Körper- und Darmepithel zu liegen, so daß die Wandung des Körpers dreischichtig wird. In diesem Punkte und in der gleich zu besprechenden Annahme einer weitergehenden Arbeitsteilung zwischen den Zellen des Körper- und des Darmepithels weichen wir von der HAECKELschen Auffassung der hypothetischen Gastraea einigermaßen ab, nach welcher die Gastraea bloß aus undifferenzierten Schichten, dem einfachen Körperepithel und dem einfachen Darmepithel bestand und die Geschlechtsprodukte aus Zellen entweder des Körperepithels oder des Darmepithels ihren Ursprung nahmen. Nach unserer Auffassung hat man sich die Körperepithel- und Darmepithelzellen der Gastraea als spezialisierte somatische Zellen vorzustellen, das Körperepithel und Darmepithel als spezialisierte Oberflächengewebe, die allerdings ontogenetisch aus nicht spezialisierten Keimepithelien hervorgingen.

Den Körper der Gastraea (Fig. 81, S. 144) stellen wir uns ellipsoidisch vor, als einen freischwimmenden Hydropolypen ohne Tentakel. Die beiden Pole der Hauptachse, der orale und aborale, sind ungleich differenziert. Am vorderen, oralen Pole liegt die runde Mundöffnung, welche in die geräumige ellipsoidische Darmhöhle hineinführt, die am hinteren oder aboralen Pole blind geschlossen ist. Die kompakte Körperwand besteht aus drei Schichten, dem äußeren oder ektodermalen Körperepithel, der mittleren oder mesodermalen Masse von Geschlechtszellen (Gonadengewebe) und dem inneren oder entodermalen Darmepithel. Die äußere und die innere Schicht bilden das tätige, die inaktive Masse der Geschlechtszellen ernährende und schützende Soma.

Im äußeren und inneren Körperepithel rücken die Zellen unter Reduktion der sie trennenden Gallerte, in die sie bei der Blastaea eingebettet waren, näher aneinander, bleiben aber nach wie vor durch gleich zu besprechende feine Protoplasmafortsätze miteinander in Zusammenhang. Die innere gallertige Grundsubstanz ist durch die Einstülpung des Ernährungsepithels zur Bildung des Darmes auf eine dünne Schicht, die Grenzlamelle (Basalmembran) zwischen innerem Darm- und äußerem Körperepithel reduziert, welcher im hinteren Umfang des Körpers das Gonadengewebe eingelagert ist.

Die äußere Schicht des Reservezellen- oder Keimzellenmaterials, das bei der Blastaea unmittelbar unter dem Somaepithel lag, die Schicht der Regenerationszellen (Neoblasten), ist durch den Einstülpungsvorgang in zwei Schichten zerlegt, die am Munde ineinander übergehen. Die äußere unter der nicht eingestülpten somatischen Zellenlage liegende Schicht bildet die basale Schicht der Regenerationszellen des Körperepithels; der übrige, mit der somatischen Ernährungszellenschicht eingestülpte Bezirk hingegen bildet die basale Regenerationszellenschicht des Darmepithels. Ähnlich gelagerte Zellen von ähnlicher Bedeutung heißen bei den heute lebenden Hydroiden intermediäre oder interstitielle Zellen.

Wir nehmen an, daß die Regenerationszellen (Neoblasten) des Körperepithels die verschiedenen Elemente des Körperepithels, aber nur diese, zu regenerieren vermögen. Ebenso haben die Regenerationszellen des Darmepithels die Fähigkeit, die Elemente des Darmepithels,

aber nur diese, zu regenerieren. Die Regenerationszellen des Körperepithels hätten also die Fähigkeit verloren, Defekte im Darmepithel zu reparieren und umgekehrt. Es ist also eine Arbeitsteilung und Spezialisierung innerhalb der Regenerationszellen eingetreten, welche der Arbeitsteilung im ganzen Körper in einiger Entfernung folgt. Die prospektiven Potenzen der Regenerationszellen sind somit eingeschränkt. Die Regenerationszellen sind gewissermaßen die Spezialreserven hinter den in der Front kämpfenden Heeresabteilungen, während die Fortpflanzungszellen die weiter zurückstehende Generalreserve für das ganze Heer darstellen.

Durch ihre Spezialisierung haben die Regenerationszellen den Charakter von wahren Keimzellen, von Fortpflanzungszellen, die wieder das ganze Soma aus sich hervorgehen lassen können, verloren. Sie haben den Charakter von somatischen Zellen erlangt. Das Soma hat durch sie eine vom Keimzellenmaterial ausgehende Bereicherung erfahren.

Zum Vergleich seien die tatsächlich bei einem einfachen zweiblättrigen Organismus, dem Süßwasserpolyphen (*Hydra*) beobachteten Erscheinungen erwähnt. Es wurde hier festgestellt, daß sich das Körperepithel nicht aus dem Darmepithel, sondern nur aus Körperepithel regenerieren kann (wenn auch aus ganz kleinen Stücken) und umgekehrt (NUSSBAUM 1887, 1890).

Die mesodermale Masse des Keimzellenmaterials bildet die Gonade. Wir nehmen an, daß bei der *Gastraea Parthenogenesis* nicht mehr vorkommt und daß die Geschlechter getrennt sind. Die Gonade ist also entweder (beim Weibchen) ein Ovarium (Eierstock) oder (beim Männchen) ein Spermarium (Testis, Hode).

Die Entleerung der Geschlechtszellen erfolgte entweder zwischen den auseinanderweichenden Körperepithelzellen hindurch direkt nach außen (Fig. 81, 7) oder zwischen den auseinanderweichenden Darmepithelzellen hindurch in den Darmraum und aus diesem durch den Mund nach außen.

Im ersteren Fall zeigte die Gonade frühzeitig während der Entwicklung nähere Beziehungen zur Anlage des Körperepithels resp. der basalen Regenerationszellenschicht desselben, der sie sich anschmiegte, im letzteren Falle nähere Beziehungen zur Anlage des Darmepithels.

Nehmen wir an, daß bei einer heute lebenden Form diese Beziehungen sehr frühzeitige und sehr enge geworden seien, so könnten sich die Verhältnisse dem Beobachter so darstellen, daß sich die Gonade in dem einen Falle aus der Anlage des Darmepithels (dem Entoderm), in dem anderen aus der Anlage des Körperepithels (dem Ektoderm), speziell der tieferen Lage von interstitiellen Regenerationszellen hervorzubilden scheinen.

Die Befruchtung erfolgte entweder im umgebenden Wasser oder bei Entleerung der Geschlechtsprodukte in den Darm, im Inneren der Darmhöhle. Im letzteren Falle ist anzunehmen, daß die Spermatozoen des Männchens, durch den Mund nach außen entleert, im Wasser herumschwärmend, mit Weibchen in Berührung kommend, durch deren Mund in die Darmhöhle gelangen und hier die Befruchtung der Eier vermitteln konnten. Blieben die befruchteten Eier auch nur kurze Zeit in der Darmhöhle zurück, so daß sich die ersten Ent-

wickelungs-(Teilungs-)vorgänge in der mütterlichen Darmhöhle abspielten, so war der einfachste Fall einer Brutpflege gegeben.

Jede der drei Hauptschichten der Gastraea hat sich durch weitergehende Arbeitsteilung kompliziert und differenziert.

A. Das äußere Körperepithel zeigt folgende Zusammensetzung. Es besteht aus:

1) Epithelwimper- zugleich Epithelmuskelzellen (Fig. 82 A). Es sind dies die motorischen Zellen. Sie bilden den Hauptbestandteil des Epithels und bestehen aus dem Zellenleib, dessen freie äußere Oberfläche Cilien trägt, während die meist verjüngte Basis in zwei lange fadenförmige Muskelfortsätze ausgezogen ist, die in diametral entgegengesetzter Richtung verlaufen, so daß beide zusammen eine Muskelfaser bilden, welcher der Zelleib mit dem Kern an einer Stelle als bewimpertes Muskelkörperchen (Myoblast) aufsitzt. Die Muskelfortsätze der Epithelmuskelzellen verlaufen in der äußeren Partie der gallertigen Grenzlamelle in zirkulärer Richtung um den Körper herum und bilden zusammen eine sogenannte äußere Ringmuskelfaserschicht. In der Achse eines jeden Muskelfaserfortsatzes ist ein Faden, eine Fibrille (oder deren mehrere) kontraktiler Substanz entwickelt, d. h. eines homogenen, stärker lichtbrechenden Umwandlungsproduktes des Protoplasmas, das die Eigenschaft hat, auf Reize hin sich nur in einer Richtung, in der Längsrichtung, aber energischer als allseitig kontraktiles undifferenziertes Protoplasma, zusammenzuziehen.

2) Sinneszellen (Aesthocyten). Es sind dünn zylindrische oder stabförmige Zellen (Fig. 81, 1), die nicht viel Platz versperren. Sie besitzen ein über die beweglichen Cilien der benachbarten Wimperzellen hinaus vorragendes, unbewegliches Sinneshaar (Sensille) oder ein Büschel solcher Sinneshaare, das zur Aufnahme der verschiedensten äußeren Reize befähigt ist.

3) Giftdrüsenzellen (Fig. 81, 4). Diese sondern in ihrem Protoplasmaleib ein mit giftiger Flüssigkeit erfülltes Bläschen ab, das auf einen durch ein kurzes Sinneshaar (Cnidocil, Cnidosensille) an der Oberfläche der Zelle vermittelten Reiz hin zu Offensiv- oder Defensivzwecken ausgestoßen wird und dabei den Inhalt entleert.

4) Exkretionswimperzellen (Fig. 81, 5). Kolbenförmige Zellen, an denen die cilientragende Oberfläche eingesunken ist. Im Protoplasma des tieferen verdickten Teiles liegen Exkretionsvakuolen, die ihren Inhalt von Zeit zu Zeit in die Wimpergrube entleeren, aus der er durch das Spiel des Cilienbüschels nach außen befördert wird. Da die wimpernde Exkretgrube ins Innere einer Zelle eingesenkt ist, so können wir sie als intracellulär bezeichnen. Die Annahme derartiger Exkretionswimperzellen ist stark hypothetischer Natur.

5) Nerven- oder Ganglienzellen (Neurocyten, Neuronen) (Fig. 81, 3). Verästelte Zellen, die in der Tiefe zwischen den übrigen Epithelzellen liegen und deren faserförmige Fortsätze als Nervenfasern mit den Nervenfortsätzen anderer Nervenzellen und mit den Sinneszellen und motorischen Zellen in Verbindung stehen.

6) Indifferente kleine Regenerationszellen (interstitielle Zellen, Neoblasten) (Fig. 81, 2) liegen überall zwischen den Epithelzellen an der Basis (in der Tiefe) des Epithels. Das durch ihre Vermehrung durch Teilung entstehende Zellenmaterial liefert die

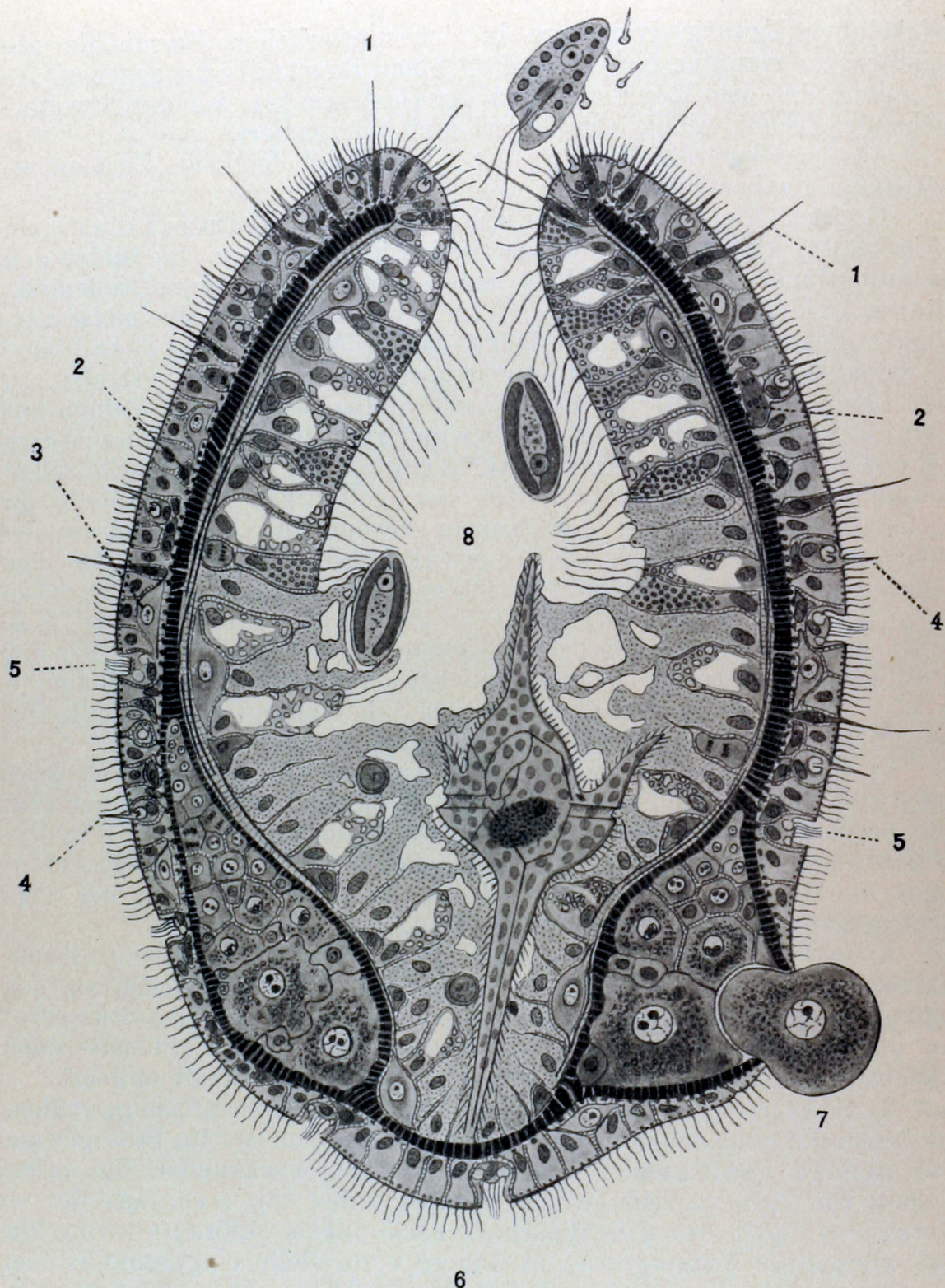


Fig. 81. Schematische Darstellung eines hypothetischen, niederen, dreischichtigen Metazoenorganismus auf der Gastraeastufe. Für die Erklärung sei hauptsächlich auf den Text verwiesen. Unmittelbar vor dem Munde eine chilomonasähnliche Flagellate, im Begriffe, in die Darmhöhle (8) eingeführt zu werden. In der Nähe entladene Giftbläschen. 1 Sinneshaare (Sensillen) auf Sinneszellen, 2 interstitielle (regenerative) Zellen (Neoblasten) in der Tiefe des Körperepithels, 3 Ganglienzellen, 4 Giftzellen mit ihrem Cnidocil (Cnidocils), 5 Exkretionswimperzellen, 6 hinterer (aboraler) Körperpol, 7 aus dem Ovarium nach außen heraustretendes Ei, 8 Darmhöhle mit aufgenommener Nahrung. Im Darmepithel, an dessen Basis Ersatzzellen (Neoblasten, interstitielle Zellen) und Ganglienzellen zu sehen sind, zeigen sich das Lumen begrenzende Körnerdrüsenzellen, Speicheldrüsenzellen (mit großen Vakuolen) und phagocytaire Zellen mit Lobopodien. Im Hintergrunde des Darmes haben die Lobopodien einen größeren Nahrungskörper (eine ceratium-ähnliche Dinoflagellate) umflossen und eingeschlossen. Schwarz: die auf eine Grenzmembran reduzierte, von Protoplasmafäden durchsetzte Kolonialgallerte. Original.

Elemente zum eventuellen Ersatz der verschiedenartigen absterbenden oder sonstwie abgehenden Körperepithelzellen: der motorischen Zellen, der Sinnes-, Nerven-, Giftdrüsen- und Exkretionszellen. Diese verschiedenen somatischen Zellen vermehren sich im normalen Verlaufe des Lebens nur im noch jugendlichen Zustand und liefern dann nur ihresgleichen. Sie haben aber eine umfassendere prospektive Potenz. Komplexe solcher somatischer Zellen können unter besonderen anormalen Verhältnissen (z. B. wenn Defekte infolge schädigender Einflüsse zustande kommen) unter Verjüngungserscheinungen zur Regeneration größerer Epithelstrecken führen.

Durch das hier in elementarer Weise angedeutete Prinzip der Spezialisierung in Verbindung mit dem eingeschränkten Regenerationsvermögen wird zugleich auch das Prinzip der sogenannten Spezifität der Gewebe (besser idiogenetisches Bildungsvermögen, MAAS), das besonders in der pathologischen Anatomie eine große Rolle spielt, erläutert. Die Lehre von der Spezifität der Gewebe sagt, daß aus einer Gewebsform nur wieder dieselbe Gewebsform, aus Muskulatur

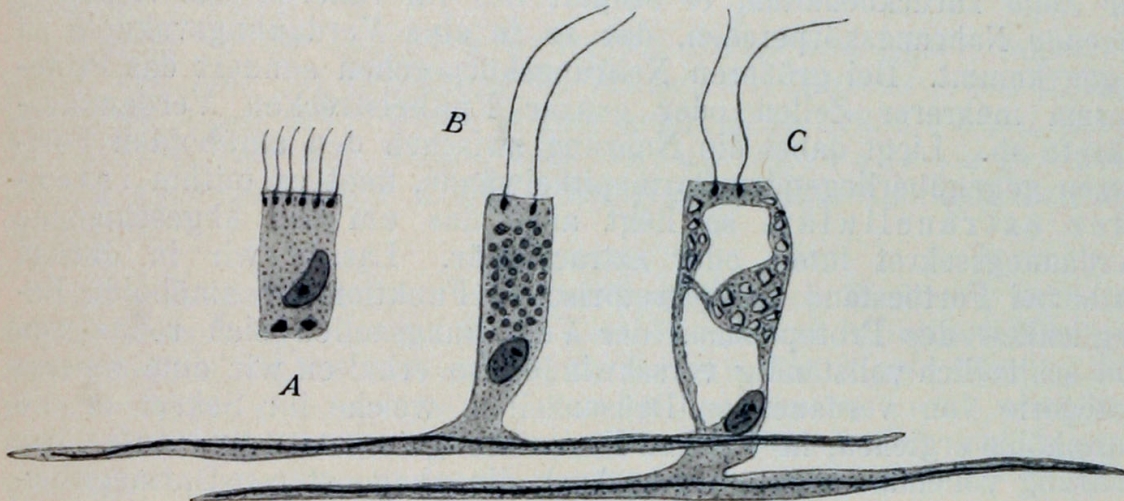


Fig. 82. Details zu der Fig. 81. A Bewimperte Körperepithelmuskelzelle auf einem Längsschnitt durch den Körper. Im basalen Teil unter dem Kern zwei querdurchschnittene zirkuläre Myofibrillen. B Eine Körnerdrüsenzelle des Darmepithels auf einem Längsschnitt durch den Körper. Im Cytoplasma Sekretkörner. An der Basis ein Längsmuskelfortsatz mit Myofibrille (schwarz) im Innern. C Eine Speicherzelle des Darmepithels mit großen Vakuolen und Eiweißkörnchen im Cytoplasma, sonst wie B. Original.

nur Muskulatur, aus Epithel nur Epithel, aus Knorpel nur Knorpel etc. hervorgehen kann.

B. Das innere Darmepithel. Hier hat sich ebenfalls eine Arbeitsteilung zwischen den Elementen (den Ernährungszellen) vollzogen. Wir nehmen an, daß, abgesehen von den auch hier vorhandenen basalen Regenerations- und den Ganglienzellen, drei verschiedene Elemente entstanden sind, nämlich:

1) Drüsenzellen (Fig. 82 B). Diese finden sich besonders häufig im vorderen Bezirke des Darmepithels. Es sind eher schlanke Zellen, welche gegen das Darmlumen zu ein oder zwei Geißelhaare tragen und an ihrer der Grenzlamelle zugekehrten Basis einen Muskelfortsatz besitzen, welcher in der Längsrichtung des Körpers verläuft. Ihr Cytoplasma ist dicht erfüllt von abgesonderten Körnchen oder Tröpfchen eines verdauenden Sekretes, welches, nach Eintritt von Nahrung durch den Mund, in den Gastral-

raum entleert, diese einer vorläufigen Zersetzung und beginnenden Auflösung unterwirft.

2) Die Freßzellen oder phagocytären Zellen. Ihre dem Darmlumen zugekehrte Oberfläche ist imstande, amöboide Fortsätze (Lobopodien) zu bilden, durch welche sie die durch den Mund in die Darmhöhle aufgenommenen Nahrungspartikel, welche durch das Sekret der Drüsenzellen einer vorläufigen Verdauung unterworfen wurden, einschließen und der intracellulären Verdauung unterziehen (Phagocytose). Solche Zellen finden sich vornehmlich im mittleren und hinteren Darmabschnitt. An der Einschließung größerer Bissen beteiligen sich — nach Art der Freßgesellschaften oder Cönobien der Protozoen (s. Bd. I) — mehrere benachbarte Zellen, oder ganze Darmepithelstrecken, z. B. die gegenüberliegenden Wände eines Darmabschnittes. Einzelne Zellen können sich gänzlich aus dem Epithelverband lösen, in das Darmlumen vortreten und sich nachträglich wieder einreihen. Bei der intracellulären Nahrungsaufnahme wird das vom Protoplasma abgesonderte Verdauungsssekret im Inneren der Zelle zurückbehalten, es bespült das im Inneren des Zelleibes liegende Nahrungskörperchen, das so in eine Verdauungsvakuole zu liegen kommt. Bei größeren Nahrungskörperchen sondert das Protoplasma mehrerer Zellen oder ganzer Epithelstrecken Verdauungsssekrete ab. Liegt dabei die Nahrung zwischen den amöboiden Fortsätzen gegenüberliegender Darmepithelwände, liegt es mithin inter- oder extracellulär, so liegt auch das um ihn abgeschiedene Verdauungsssekret inter- oder extracellulär. Lassen wir in diesem Falle bei Fortbestand der sekretorischen Funktion die amöboide Beweglichkeit des Protoplasmas der Verdauungszellen sich reduzieren und schließlich vollständig verschwinden, so erhalten wir eine weitere Kategorie von verdauenden Drüsenzellen, welche ihr Sekret in die Darmhöhle ergießen, in welcher die vorläufig zersetzte und aufgelöste Nahrung vollends verdaut wird. Auch die phagocytären Darmepithelzellen können an ihrer Basis Längsmuskelfortsätze besitzen und an ihrer freien, dem Darmlumen zugekehrten Oberfläche während der Perioden des Fastens oder Hungerns die Lobopodien durch Geißelhaare ersetzen.

3) Die Speicherzellen (Fig. 82 C) des Darmepithels bilden die dritte Kategorie von Darmepithelzellen. Es sind große Zellen mit einer, zwei oder mehreren großen Saftvakuolen. Sie finden sich überall in großer Zahl zwischen den Drüsen- und Freßzellen zerstreut. Ihre an das Darmlumen angrenzende Oberfläche trägt ein oder zwei lange, bewegliche Geißelhaare (Flagellen). Im Plasma des Zelleibes finden sich verschiedene Einschlüsse, vor allem Eiweißkörner, welche die aufgespeicherte, resorbierte Eiweißnahrung darstellen, ferner Fettkügelchen usw., Materialien, die dazu bestimmt sind, in Zeiten des Fastens oder Hungerns aufgebraucht zu werden. Jede solche Zelle besitzt ferner an ihrer der Grenzlamelle zugekehrten Basis ebenfalls einen in der Längsrichtung des Körpers verlaufenden langen Muskelfortsatz, in dessen Achse eine oder mehrere Fibrillen kontraktiler Substanz differenziert sind. Wenn wir uns nun beispielsweise die Arbeitsteilung zwischen solchen Speicherzellen weiter vorgeschritten denken, so können wir uns die Sache leicht schematisch so vorstellen, daß von je drei solchen Zellen, welche Geißel-, Muskel- und Reservenahrungs-

zellen zugleich sind, eine zu einer reinen Geißelzelle, eine zweite zu einer reinen Speicherzelle und eine dritte zu einer bloßen Epithelmuskelzelle wird.

Zwischen den Epithelzellen, an der Basis des Darmepithels, finden sich indifferente, kleine Zellen überall zerstreut, die Regenerationszellen (Neoblasten) des Darmepithels.

C. Das Gonadengewebe. Durch ihr verschiedenes Schicksal unterscheiden sich zwei Sorten von anfänglich, wenigstens scheinbar, gleichartigen und gleichbeanlagten Geschlechtszellen oder Gonocyten: abortive und evolutive. Nicht alle Geschlechtszellen wachsen und reifen zu befruchtungsfähigen Gameten heran, sondern nur relativ wenige, aus diesen oder jenen Gründen bevorzugte. Diese gewinnen die Oberhand über die schwächeren, mehr oder weniger defekten. Die letzteren dienen dann als abortive Gonocyten den ersteren zur Nahrung, sei es daß sie zerfallen und daß erst ihre Zerfallsprodukte von den evolutiven Gonocyten verdaut und assimiliert, sei es, daß sie von diesen direkt auf phagocytärem Wege bewältigt werden.

Indem so die abortiven Gonocyten früher oder später zugrunde gehen und bloß zur Ernährung der reifenden Geschlechtszellen dienen, bilden sie einen neuen Zuwachs zum somatischen Zellenmaterial. Eine Bereicherung des Soma vom Gonadengewebe aus geschieht sodann noch wiederholt in den aufsteigenden Entwicklungsreihen der Metazoen.

Es gibt auch Fälle, wo das Abortivwerden von Eiern erst nach erfolgter Befruchtung eintritt, Fälle, wo z. B. mehrere befruchtete Eier von einer gemeinsamen Eischale umhüllt werden. Alle Eier fangen dann an, sich zu entwickeln, aber von Zeit zu Zeit bleiben einzelne zurück, zerfallen und dienen den wenigen Embryonen, die schließlich noch übrigbleiben und ausschlüpfen, zur Ernährung. Wir können den Fall der Bildung von Abortivzellen in der Gonade als die gleiche Erscheinung betrachten, die aber schon sehr frühzeitig eintritt.

Es ist überaus lehrreich, zum Vergleich einen Fall herbeizuziehen, den man auf einer oberen Stufe der Metazoenorganisation beobachten kann. Bei unserem gewöhnlichen, lebendig gebärenden, schwarzen Alpensalamander (*Salamandra atra*) treten bei der Ovulation ziemlich zahlreiche, vielleicht durchschnittlich ca. 30 Eier aus dem Ovarium in den Eileiter (wo sie mit einer Eiweißhülle umgeben werden) und nachher in den Fruchthälter (Uterus) der betreffenden Körperseite über. Diese Eier scheinen normalerweise alle befruchtet zu werden. Die meisten von ihnen aber entwickeln sich nicht oder bringen es nicht über frühe Entwicklungsstadien hinaus. Ihr Dotter zerfließt zu einer großen zähflüssigen, gelbweißen Masse, dem Dotterbrei. In jedem Uterus entwickelt sich bloß ein einziges bevorzugtes Ei auf Kosten des Dotterbreies (also der zusammengefloßenen Abortiveier) und der durch die Uteruswand diffundierenden Nahrung zu einer wohlgestalteten, lebenskräftigen Larve. Der aus diesem evolutiven Ei hervorgehende Hauptembryo bewältigt den Dotterbrei, a) indem er ihn direkt verschluckt, b) indem seine mächtigen gefiederten Kiemen in ihn eintauchen und ihn wahrscheinlich in gelöster Form resorbieren, wie Darmzotten die gelöste Nahrung (SCHWALBE 1896). Gelegentlich entwickelt sich noch ein zweites oder ein drittes Ei eine beträchtliche Strecke weiter und wird zu

einem Embryo, der aber mißgestaltet, lebensunfähig ist und frühzeitig abstirbt.

Ueber den Zusammenhang der polymorphen Zellen der Gastraea untereinander machen wir uns folgende Vorstellung: Alle benachbarten Zellen stehen im ganzen Körper miteinander durch kurze feine Fortsätze des Protoplasmas in Verbindung. Solche Fortsätze verbinden auch die Zellen des Körperepithels mit den benachbarten Zellen des Darmepithels durch die zwischengelagerte Grenzlamelle (Gallerte) hindurch und die Elemente des Gonadengewebes mit den benachbarten somatischen Elementen. Diese Fortsätze haben das primitive Vermögen des Protoplasmas, Erregungen weiterzuleiten, beibehalten, und sie sind auch die Wege, auf denen gelöste Nahrung, geformte Reservenährstoffe, Körpersäfte und Exkrete fortgeführt werden. Sie sind die vom Darmepithel ausgehenden Verproviantierungsstraßen für die Gonade und für das Körperepithel. Auf diesen Wegen werden ferner das in den Darm hineintretende und von den Darmepithelzellen aufgenommene Wasser, sowie die überall entstehenden Exkrete den Exkretionszellen des Körperepithels zugeführt, in ihren pulsierenden Vakuolen gesammelt und durch sie periodisch nach außen entleert.

Ein Teil der Zellverbindungen aber hat sich spezialisiert. Wie sich in den Muskelfortsätzen der Zellen ein Teil des Protoplasmas in Fasern kontraktiler Substanz (Myofibrillen) umwandelt, die sich nur in der Längsrichtung, aber in dieser viel energischer als das unspezialisierte, undifferenzierte Protoplasma, kontrahieren, so verwandelt sich ein Teil des Protoplasmas gewisser Zellverbindungen in Fäden einer spezifischen Plasmasubstanz, welche Reize, Erregungen viel leichter und rascher als die gewöhnlichen Zellverbindungen fortleitet, welche also gewissermaßen besser gebahnt sind, in welchen die Reizfortpflanzung geringeren Hemmungen begegnet. Diese spezifischen Zellverbindungen, welche die basalen Teile von Epithelzellen miteinander verbinden, nennen wir Nervenfortsätze oder Nervenfasern, die in ihnen differenzierten Fäden leicht leitender Substanz Nervenfibrillen oder Neurofibrillen. Durch solche Nervenfasern sind die Sinneszellen mit den Ganglienzellen, die Ganglienzellen mit den Epithelmuskelzellen und Drüsenzellen und die Ganglienzellen untereinander verbunden. Die Nervenfasern, welche die Sinneszellen mit den Ganglienzellen verbinden, nennen wir zentripetale sensible oder rezeptorische Nervenfasern, diejenigen, welche die Ganglienzellen mit den Drüsen- oder Epithelmuskelzellen, sogenannten Erfolgsorganen, verbinden, nennen wir zentrifugale oder effektorische; speziell die zu den Muskeln verlaufenden, motorische Nervenfasern. Dabei werden die Ganglienzellen als die zentralen Elemente dieses ganzen Beziehungs- oder Verbindungssystems, das wir Nervensystem nennen, betrachtet. Die Neurofibrillen treten durch eine rezeptorische Nervenfaser in eine Ganglienzelle ein und verlassen dieselbe, nachdem sie sich geteilt haben, wieder, um entweder in die Verbindungsnervenfasern oder in effektorische Nervenfasern einzutreten. In den Ganglienzellen anastomosieren sie mit anderen eintretenden Neurofibrillen. Die Nervenfasern sind demnach nur Bahnen, die Ganglienzellen nur Durchgangsstationen für die Neurofibrillen, die also gleichsam ein kontinuierliches System von Geleisen

bilden, auf denen sich die Erregungen fortbewegen. In analoger Weise zieht ja auch die Muskelfibrille im Muskelfortsatz kontinuierlich durch die Basis des Zelleibes der Muskelzelle hindurch.

Alle Reize, die auf eine Zelle einwirken, werden durch die gewöhnlichen Protoplasmaverbindungen langsam weitergeleitet, erlöschen aber in kurzer Entfernung. Die Neurofibrillen hingegen leiten rasch und weit. Wird eine Erregung durch eine zentrifugale, effektorische Nervenfibrille auf die kontraktile Fibrille einer Muskelzelle übertragen, wobei die Neurofibrille sich durch den Zelleib der Epithelmuskelzelle den Weg bis zur basalen Myofibrille bahnt, so antwortet die letztere durch Kontraktion, während in demselben Falle eine Drüsenzelle durch vermehrte sekretorische Tätigkeit reagiert, immer unter der Voraussetzung genügender Reizstärke. Die Verbindung der Ganglienzellen untereinander dient dazu, einen lokalen Reiz (der auf eine einzige Sinneszelle oder eine lokale Gruppe von Sinneszellen einwirkt), auf eine größere Zahl reagierender effektorischer Elemente, z. B. auf alle Muskelzellen des Körperepithels, auszubreiten.

Ein primitives Nervensystem, wie das geschilderte, nennt man ein diffuses Nervensystem. In ihm bilden die Nerven- oder Ganglienzellen ein Netz oder einen Plexus.

Unsere Darstellung des Baues und der Lebensverrichtungen des Gastraeakörpers wollen wir durch folgende Erläuterungen ergänzen.

Die gallertige Grenzmembran hat einen genügenden Grad von Konsistenz, um dem Gesamtkörper die bestimmte Form zu geben. Sie bildet die Grund- und Unterlage, in welcher das Gonadengewebe enthalten ist und auf welcher die Epithelien ruhen. Zweitens hat sie einen genügenden Grad von Elastizität, um dem Körper nach erfolgter Deformation infolge von Druck (z. B. Muskeldruck) oder Zug wieder die normale Gestalt zurückzugeben, wenn die komprimierende oder ausdehnende Ursache aufhört.

Die Kontraktion der Muskelfaserschichten des Körpers. Bei simultaner Kontraktion der äußeren Ringmuskelschicht¹⁾ streckt sich der Körper unter gleichmäßiger Verkleinerung des Querschnittes gleichmäßig in die Länge. Bei simultaner Kontraktion der Längsmuskelschicht verkürzt er sich unter Vergrößerung des Querschnittes.

Läuft eine in den beiden Muskelschichten alternierende Kontraktionswelle von dem einen Körperpole zum andern, so kommt dadurch jene Bewegung zustande, die man als die metabolische, wurmförmige oder peristaltische bezeichnet. Die Bewegungswelle kann von vorn nach hinten oder von hinten nach vorn verlaufen. Mit Bezug auf die Außenwelt erscheint sie als metabolische oder wurmförmige, mit Bezug auf den Darminhalt als peristaltische oder antiperistaltische Bewegung. Die Antiperistaltik würde eine Entleerung des Darminhaltes durch den Mund, die Peristaltik eine Verschiebung desselben nach hinten, und da der Darm blind geschlossen ist, ein abwechselndes Sich-Stauen und Wiederrückströmen des Darminhaltes und dabei eine Vermischung und Knetung desselben hervorrufen. Es ist nützlich, sich zu vergegenwärtigen, welches

1) Bei der Gattung *Hydra* (dem Süßwasserpolyphen) liegt die Ringfaserschicht innen (an der Basis des Darmepithels) und die Längsfaserschicht außen (an der Basis des Körperepithels).

die Folgen einer solchen metabolischen Bewegung an einem auf fester Unterlage liegenden Körper sein würden. Eine genügende Reibung des Körpers gegen die Unterlage vorausgesetzt, würde eine von vorn nach hinten verlaufende Kontraktionswelle den Körper nach vorn von der Stelle bewegen, wie bei einem dahinkriechenden Regenwurm und umgekehrt.

Die Rolle der Geißelhaare am Darmepithel der *Gastreae*. Wir nehmen an, diese Organellen seien vorn, in der Nähe des Mundes, besonders zahlreich, und wir wollen uns vorstellen, daß sie eine darmwärts gerichtete Wasserströmung unterhalten, die vornehmlich zur Einfuhr von Nahrungspartikelchen dient. Das sich im Darm stauende und von den Verdauungszellen aufgenommene Wasser wird durch die Exkretionszellen des Körperepithels, gelegentlich auch unter Kontraktionen der Körpermuskelschichten durch den Mund, wieder nach außen abgeschieden.

Gasaustausch zum Zwecke der Atmung findet an der ganzen äußeren und inneren Oberfläche des Körpers statt.

Wer sich der vorstehenden Hypothese über die Organisation und Lebensverrichtungen supponierter niederster Stammformen der Metazoen nicht anschließen vermag, wird ihr doch vielleicht den Wert einer möglichst einfachen und dabei möglichst erschöpfenden schematischen Darstellung der Verhältnisse niederer Metazoen, die sich auf ein großes Erfahrungsgebiet stützt, nicht ganz absprechen. Man wird sie in diesem Falle bloß als eine provisorische, aber vielleicht didaktisch nützliche und instruktive Grundlage für das Studium der Organisation der Metazoen betrachten.

E. Ontogenetische Entwicklung der *Gastreae*. Furchung und Keimblätterbildung. Beziehungen zur Phylogenie.

Wir können uns ohne Schwierigkeit vorstellen, daß ein Metazoenorganismus, ähnlich unserer hypothetischen *Gastreae*, in seiner individuellen (ontogenetischen) Entwicklung so zustande kommt, wie heutzutage noch die Protozoonkolonien bei vielen koloniebildenden Urtieren, z. B. Flagellaten, mit dem Unterschied jedoch, daß die fortgesetzten Teilungen von Protozoenindividuen, die zur Bildung einer Kolonie führen, im wesentlichen qualitativ gleichhältig sind, während die Zellteilungen bei der Entwicklung eines Metazoenorganismus früher oder später ungleiche Abkömmlinge liefern.

Die Bildung einer Protozoonkolonie geschieht, allgemein dargestellt, in folgender Weise. Es bilden sich Makrogameten (Eier) und Mikrogameten (Spermien). Die Makrogameten sind reichlicher ernährte, entdifferenzierte Individuen der Kolonie mit reduzierter Chromatinsubstanz. Entdifferenziert oder verjüngt nennen wir sie, weil an ihnen die spezifischen Protozoonorganellen (Bewegungsorganellen, Ernährungsorganellen usw.) rückgebildet sind. Der reduzierte Zustand ihrer chromatischen Substanz entspricht dem haploiden Zustande des Kernes eines reifen befruchtungsfähigen und befruchtungsbedürftigen Metazooneies. — Die Mikrogameten entstehen

durch rasch fortgesetzte Teilung aus Zellindividuen der Kolonie und sind demzufolge sehr klein, aber zahlreich, nicht mit Reservestoffen belastet. Die lokomotorischen Organellen bilden sich an ihnen nicht zurück. Es erhält sich beispielsweise bei den flagellatenähnlichen Spermien das Flagellum. Auch die Mikrogameten enthalten reduzierte Chromatinsubstanz.

Dann tritt Konjugation (Befruchtung) ein. Eine Mikrogamete verschmilzt mit einer Makrogamete zu einer Zygote. Es verschmelzen dabei die beiden reduzierten Chromatinmassen zu einem neuen, mit Bezug auf das Chromatin vollwertigen Kerngebilde, dem diploiden Frischkern oder Synkaryon.

Die Zygote bildet die spezifischen Organellen der Art aus, zu der sie gehört (z. B. ein Flagellum, ein Cytostoma, eine pulsierende Vakuole usw.) und übt als aktives Protozoenindividuum alle vegetativen Lebensverrichtungen aus. Sie ernährt sich, assimiliert und wächst. Dann schreitet sie zur Fortpflanzung, d. h. zur Teilung, welche eine gleichhälftige ist. Dem Teilungsakt geht vielfach eine Entdifferenzierung voraus.

Die beiden Tochterindividuen bleiben beisammen. Ein jedes differenziert wieder die Zellorganellen. Es entsteht eine aus zwei Individuen bestehende aktive Protozoenkolonie. Die beiden Individuen ernähren sich, assimilieren und wachsen. Dann schreiten sie, indem sie sich verjüngen (entdifferenzieren), zur Fortpflanzung, d. h. zur Teilung, welche eine gleichhälftige ist. Die vier Enkelindividuen bleiben beisammen und bilden, indem ein jedes wieder die spezifische Protozoenorganisation ausbildet, eine viergliederige Protozoenkolonie.

Die Vorgänge fahren fort, diesen Verlauf zu nehmen. Durch fortgesetzte Teilungen, während welcher die Individuen entdifferenziert sind, entstehen 8-, 16-, 32-gliederige Protozoenkolonien usw. Gewisse Teilungen liefern Zellindividuen, die in das Innere der Kolonie hineingeraten, sich vorläufig nicht differenzieren, aber fortfahren, sich zu teilen. Es sind die Keimzellen.

Völlig zwanglos können wir uns die einzelnen Stadien einer solchen ontogenetischen Entwicklung unverändert als Etappen in der phylogenetischen Entwicklung vorstellen. Nur hätten wir uns zu denken, daß in der Erdgeschichte jedes Stadium durch unzählige, sich wiederholende und immer wieder auf den Ausgangspunkt, die Zygote, zurückkehrende Generationen vertreten war.

Eine solche Entwicklungsweise, bei der jedes Stadium wieder auf die Vorfahrenform einer aktiven Protozoenkolonie bzw. eines einfachen Metazoenorganismus zurückkehrt, welcher durch selbständigen Nahrungserwerb sich immer erst wieder die Möglichkeit schaffen muß, sich durch Teilung seiner Zellelemente auf das nächstfolgende Stadium zu erheben, wäre aber eine äußerst langsame und gefährdete. Wir müssen uns deshalb vorstellen, daß sich die individuelle Entwicklung, im Laufe der phyletischen Evolution fortschreitend verkürzte und direkter gestaltete. Wenn, was wir ja von vornherein annehmen müssen, die Organisation auf jeder neuen Stufe der phyletischen Entwicklung eine den habituellen, „normalen“ Durchschnittsverhältnissen besser angepaßte war, so war jede solche Verkürzung in der onto-

genetischen Entwicklung, die möglichst direkte Erreichung des bestangepaßten erwachsenen Zustandes, ein nützlicher Fortschritt. Dieser wurde dadurch erreicht und ermöglicht, daß die erwachsenen Formen ihre weiblichen Gameten mit immer mehr Reservenahrung in Form von Nahrungsdotter ausstatteten. Dann brauchte die Zygote sich nicht mehr zu der Vorfahrenform eines aktiven Protozoon zu differenzieren, um sich nachher zwecks Teilung wieder zu vermehren. Die Zygote blieb entdifferenziert und stellte von diesem Augenblicke an nur das erste Entwicklungsstadium, das unbefruchtete Ei dar. Je mehr der erwachsene Organismus seine Eier mit Nahrungsdotter auszurüsten vermochte, um so weniger dringend wurde während der individuellen Entwicklung die Ausbildung eines aktiven, sich selbständig ernährenden Stadiums. Die beiden Tochterzellen, die vier Enkelzellen, die acht Urenkelzellen usw. der Zygote (des befruchteten Eies) differenzierten sich nicht mehr zu zwei-, vier-, acht- usw. gliederigen aktiven Protozoonkolonien, sondern wurden zu bloßen Durchgangsstadien der Entwicklung. Die ursprünglichen Protozoenindividuen dieser Stadien wurden zu Furchungszellen oder Blastomeren. Die Bildung der zwei-, vier-, acht-, sechzehn-gliederigen Protozoonkolonien, die sich bei jedem Teilungsschritt ihrer Glieder vermehrten, wurde zum Furchungsprozeß, bei dem weder von einer Organellendifferenzierung noch von einer Entdifferenzierung der Zellindividuen die Rede ist. Dehnte sich dieser Prozeß der Abkürzung der Ontogenie immer weiter aus, so nahm auch die Blastaea den Charakter eines bloßen Durchgangsstadiums an; sie wurde zur Blastula, zu einer „Keimblase“, deren sich nicht differenzierende Wandzellen eine Keimschicht, das Blastoderm, bilden, wobei die Kolonialgallerte nicht mehr zur Ausbildung gelangt und der Binnenraum der Coeloblastula, die nunmehrige Furchungshöhle, mit Wasser erfüllt ist. Die einfachste Form einer solchen Furchung und Blastodermbildung, die tatsächlich bei Metazoen beobachtet wird, ist die totale, äquale Furchung homolecithaler Eier, wie sie beispielsweise durch die erste Entwicklung einer Holothurie (*Synapta digitata*) nach SELENKA in fast schematischer Weise illustriert wird (Fig. 83 u. 84). (Beim homolecithalen Ei dieser Form ist der in mäßiger Menge im kugeligen Ei enthaltene Nahrungsdotter gleichmäßig im ganzen Cytoplasma verteilt. Das Ei und seine Deszendents, die Blastomeren, teilen sich immer total in je zwei gleichgroße Tochterzellen.)

Unter den Blastomeren zeichnen sich einzelne, mit stets uneingeschränkter prospektiver Potenz behaftete, durch besondere Eigentümlichkeiten aus. Sie verlagern sich in die Furchungshöhle und stellen die Keimzellen der Blastaea dar. Vorläufig bleiben sie ungeteilt oder sie vermehren sich nur wenig. Sie werden in der Embryologie der Metazoen auch als Urgeschlechtszellen bezeichnet, und man hebt ihre vielfach beobachtete frühzeitige Sonderung von dem übrigen embryonalen Zellenmaterial, die wir durch einige Figuren (Fig. 87 u. 88) belegen wollen, besonders hervor. Schließlich wurden auch, mit zunehmender Bereicherung der Eier mit Reservenahrung (Nahrungsdotter), die supponierten phylogenetischen Zwischenstadien von der Blastaea zur dreischichtigen Gastraea in der ontogenetischen Entwicklung nicht mehr aktiv, sondern zu bloßen ontogenetischen Durchgangsstadien. Doch die phylogenetischen Etappen wiederholen sich immer noch in

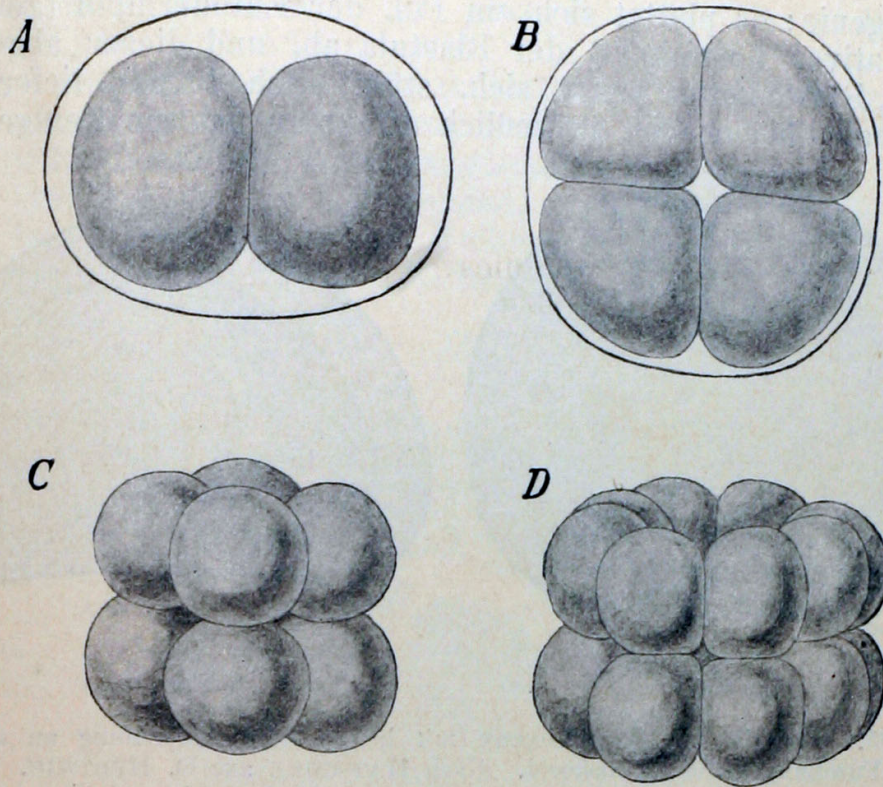


Fig. 83. Furchung von **Synapta digitata**. Nach SELENKA aus KORSCHOLT und HEIDER. A Zwei-Blastomerenstadium, Seitenansicht. B Vier-Blastomerenstadium, Polansicht. C Acht-Blastomerenstadium, Seitenansicht. D Sechzehn-Blastomerenstadium, Seitenansicht.

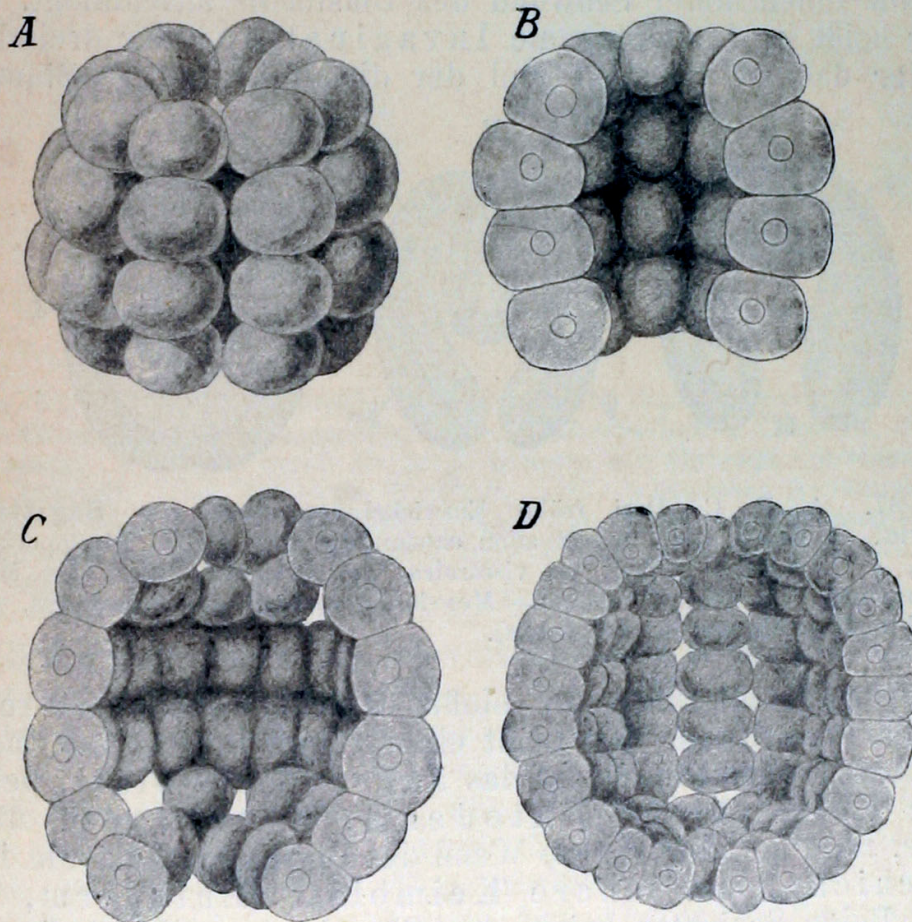


Fig. 84. Spätere Stadien der Furchung von **Synapta digitata**. Nach SELENKA aus KORSCHOLT und HEIDER. A Zweiunddreißig-Blastomerenstadium, Seitenansicht. B Dasselbe im Durchschnitt. C Vierundsechzig-Blastomerenstadium im Durchschnitt. D Durchschnitt durch das Hundertachtundzwanzig-Blastomerenstadium.

der Ontogenie: es plattet sich ein Pol, der Entodermopol (gewöhnlich als vegetativer bezeichnet) der Blastula ab, und dieser abgeplattete Teil des Blastoderms senkt sich, stülpt sich immer tiefer in das Blastocöl ein, bis er sich schließlich direkt an den nicht eingestülpten

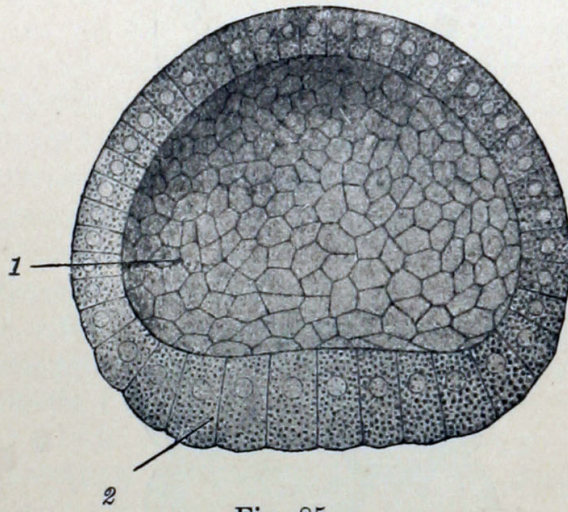


Fig. 85.

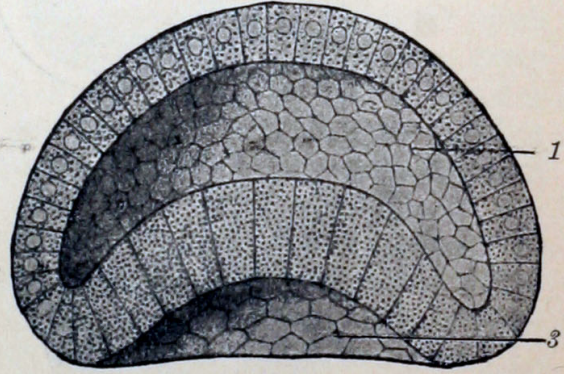


Fig. 86.

Fig. 85. Blastula von **Amphioxus** mit beginnender Abflachung an dem einen Pol (2). 1 Furchungshöhle = Blastocöl. Nach HATSCHKE aus O. HERTWIG.

Fig. 86. Beginnende Einstülpung der Blastula von **Amphioxus**. Junges Gastrulastadium. 1 Furchungshöhle, 2 Urdarmhöhle. Nach HATSCHKE, aus O. HERTWIG.

Teil des Blastoderms und die Gruppe der Urkeim- oder Urgeschlechtszellen von innen unter Schwund des Blastocöls anschmiegt. Dieser Vorgang heißt in der Ontogenie Invagination; der dreischichtige Keim, der dadurch entsteht und der die dreischichtige Stammform,

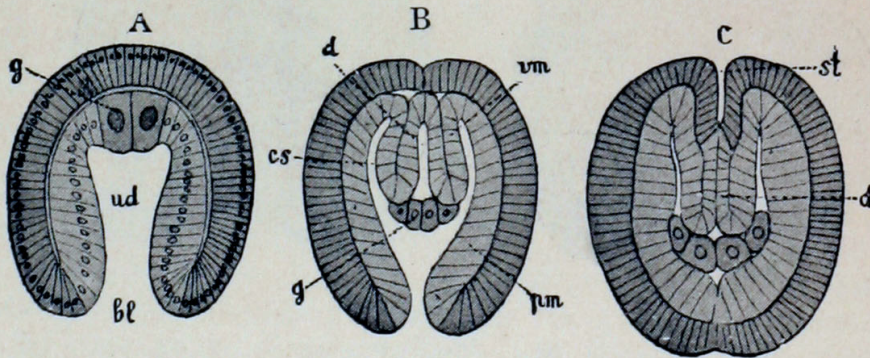


Fig. 87. A, B, C Drei frühe Entwicklungsstadien von **Sagitta**. Nach O. HERTWIG. A Durch totale Invagination entstandene Gastrula, *bl* Blastoporus, *ud* Urdarmhöhle, *g* Urgeschlechtszellen, *vm* viscerales, *pm* parietales Blatt des Mesoderms, *d* Mitteldarmanlage, *cs* Cölomdivertikel = Mesodermdivertikel des Entoderms, *st* Stomodaeum (Schlundeinstülpung des Ectoderms).

die Gastraea, allerdings als bloßes Durchgangsstadium, repräsentiert, heißt Gastrula. Die nicht eingestülpte Schicht des (noch undifferenzierten) Blastoderms ist das äußere Keimblatt, besser die äußere Keimschicht (Ektoderm, Ektoblast). Die eingestülpte, noch undifferenzierte Wand des Blastoderms ist die innere Keimschicht, das innere Keimblatt (Entoderm, Entoblast). Beide Schichten haben den Charakter von Epithelien (Keimepithelien). Die Einstülpungshöhle ist die Urdarmhöhle (Archenteron), die Einstülpungsöffnung ist der Urmund (Prostoma, Blastoporus). Die Gruppe oder der Haufen von

Urkeimzellen (Fig. 88, 3) liegt jetzt in mesodermaler Lage zwischen Ekto- und Entoderm.

Jetzt erst, am Schlusse der individuellen Entwicklung, hebt der Differenzierungsprozeß an, welcher die Gastrula (ein embryonales, undifferenziertes Durchgangsstadium) zur aktiven, sich selbstständig ernährenden und bewegend, geschlechtsreifen Gastraea gestaltet. Das Ektoderm wird zum äußeren Körperepithel, indem die meisten seiner indifferenten Zellen dadurch, daß sie die betreffenden

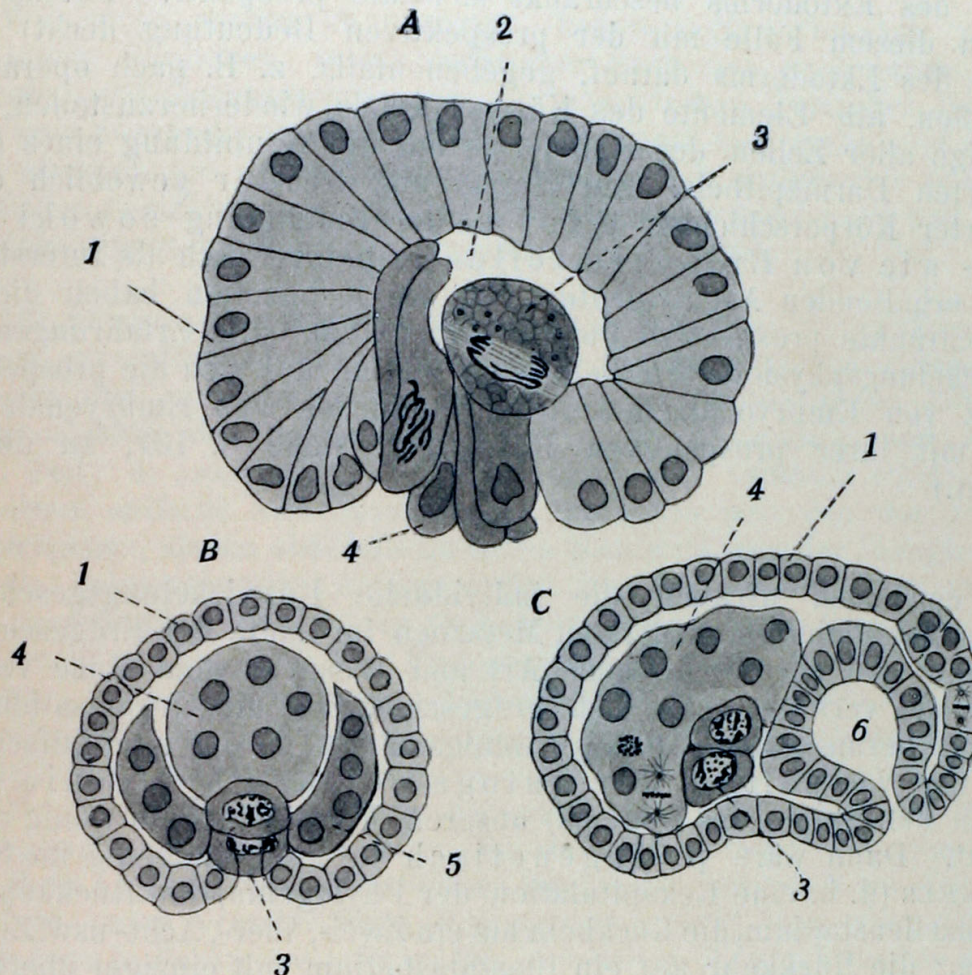


Fig. 88. A, B, C Frühzeitige Sonderung der Urgeschlechtszellen in der Ontogenie. 1 Ektoderm, 2 Furchungshöhle, 3 Urgeschlechtszellen, 4 Entoderm, 5 Mesoderm, 6 Stomodaeum. A Schnitt durch die junge Gastrula von **Cyclops brevicornis** CLAUS (**viridis** JURINE). Nach VALENTIN HAECKER, 1897. B Optischer Horizontalschnitt und C optischer Medianschnitt durch einen jungen Keim von **Ascaris megalocephala**. Der Keim steht ungefähr auf der Stufe einer älteren Gastrularlarve. Nach THEODOR BOVERI, 1899.

Organellen differenzieren, zu den verschiedenen Elementen der äußeren Körperschicht: Wimperzellen, Giftzellen, Sinneszellen, Ganglienzellen und Epithelmuskelzellen, werden. Eine Anzahl von Abkömmlingen der Ektodermzellen in basaler Lage behält den undifferenzierten Charakter bei. Es sind die interstitiellen Zellen (Regenerationszellen). In ähnlicher Weise differenzieren sich die Entodermzellen zu den verschiedenen, mit Geißeln ausgerüsteten Epithelmuskelzellen des Darmepithels, den Drüsen- und Speicherzellen und phagocytären Zellen. Die mesodermale Gruppe von Urkeimzellen wird zu einer Gonade, in der unter Teilungs- und Reifungserscheinungen Gameten entstehen.

Um eine Erscheinung schematisch zu erläutern, welche in der Entwicklungsmechanik eine wichtige Rolle spielt, wollen wir annehmen, daß sich beim ontogenetischen Uebergang vom Blastula zum Gastrulastadium die prospektive Potenz der zwei Regionen des Blastoderms einschränkt. Auf den Furchungsstadien und vielleicht noch auf dem Blastulastadium besitzen alle Zellen eine uneingeschränkte prospektive Potenz. Diese uneingeschränkte Potenz behalten im weiteren Verlauf der Entwicklung nur die Urkeimzellen bei, bei den Zellen des Ektoderms beschränkt sich die prospektive Potenz (die sich in diesem Falle mit der prospektiven Bedeutung deckt) aller Zellen des Ektoderms darauf, gegebenenfalls, z. B. nach operativen Eingriffen, alle Elemente des Körperepithels wiederherzustellen, und diejenige aller Zellen des Entoderms auf die Neubildung eines differenzierten Darmepithels. Zur Herstellung beider geweblich differenzierter Körperschichten bedarf es der Beteiligung sowohl von Ekto- wie von Entodermzellen resp. ihrer sich als Interstitialzellen erhaltenden Aequivalente. Nur die Keimzellen haben die uneingeschränkte prospektive Potenz beibehalten. (Die Erfahrungen der Entwicklungsphysiologie scheinen zu lehren, daß sich die prospektive Potenz von Embryonalzellen resp. Komplexen von Embryonalzellen nicht mit ihrer prospektiven Bedeutung, siehe S. 131, zu decken braucht.)

Wenn sich wirklich die individuelle Entwicklungsgeschichte unserer supponierten niedersten Metazoen im Laufe der Erdgeschichte allmählich auf die beschriebene Art und Weise in dem Maße vereinfachte und verkürzte, als sich erdgeschichtlich die Organisation der Gastraea herausbildete, so wäre wenigstens in diesem allereinfachsten Falle das Verhältnis der Ontogenie zur Phylogenie (oder auch zu den Stufen des Systems) unserem Verständnis ein wenig näher gerückt. Dann wäre palingenetisch in der Ontogenie im Sinne HAECKELS (d. h. eine Rekapitulation der Phylogenie) die Rückkehr auf das Einzellenstadium, die Rückkehr auf ein Zwei-, Vier-, Acht- usw. Zellenstadium; die Rückkehr auf ein Blastulastadium mit einziger oberflächlicher Zellschicht und zentralen Keimzellen, der Invaginationsvorgang und die Entstehung des dreischichtigen Baues. Cänogenetisch, d. h. gegenüber den entsprechenden Vorfahrenzuständen verändert, wäre der undifferenzierte Zustand (das Fehlen der Organellen) bei allen Zellen aller Entwicklungsstadien, die vorläufig nicht eintretende Vermehrung der Urgeschlechtszellen und das Auftreten von reichlicherem Nahrungsdotter in der Zygote (dem Ei). Die Zygote selbst ist auch ihrem inneren Wesen, ihrer Beanlagung nach innerhalb des alten Vorfahrenrahmens der Zelle, inzwischen wirklich etwas anderes geworden. In der Vorfahrenreihe war sie nur ein einzelliges, zur Fortpflanzung durch Teilung befähigtes Protozoon. Die Erzeugung von zwei neuen selbständigen Protozoenindividuen war ihre ganze prospektive Bedeutung. Jetzt hat sich ihre prospektive Bedeutung derart verändert und bereichert, daß sie darin besteht, durch fortgesetzte gleich- und ungleichhälftige Teilung die Organisation einer Gastraea zu liefern. Und was vom Ei der Gastraea gilt, verglichen mit dem ursprünglichen einzelligen Protozoon, gilt in ähnlicher Weise für die darauffolgenden ontogenetischen Entwicklungsstadien.

F. Abweichende Hypothesen über den phylogenetischen Ursprung einer gemeinsamen Stammform der Metazoen.

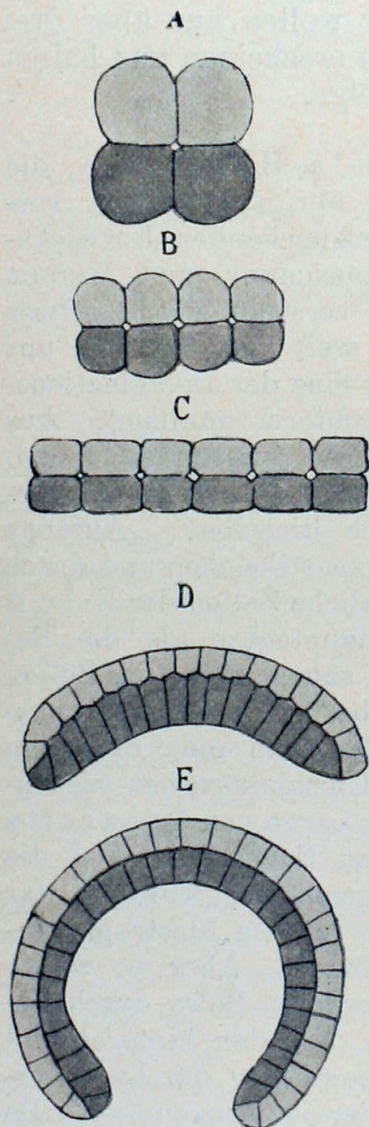
Unsere eigenen, im vorstehenden entwickelten Ausführungen über die mögliche phylogenetische Ausbildung einer primitiven Metazoenorganisation sind im wesentlichen nur eine modernere Ausgestaltung der grundlegenden Gastraeatheorie, die HAECKEL (1872, 1874, 1875, 1877) begründet hat.

Wie nicht anders zu erwarten, haben andere Forscher, geleitet von einem ähnlichen, wohlberechtigten Bestreben nach synthetischer Ordnung und Zusammenfassung der empirischen Tatsachen der Biologie vom deszendenztheoretischen Standpunkte aus, mehr oder minder stark abweichende Hypothesen aufgestellt. Wir wollen nur über drei von ihnen berichten, die uns als die wichtigsten erscheinen und halten uns dabei nicht an die chronologische Reihenfolge.

Die neueste Hypothese ist die Archigastrula-Hypothese, die in dem vortrefflichen, in theoretischen Fragen übrigens äußerst vorsichtigen und zurückhaltenden „Lehrbuch der vergleichenden Entwicklungsgeschichte der wirbellosen Tiere“ von KORSCHULT und HEIDER (Allg. Teil, 4. Lieferung, 1910) zu begründen versucht wird. Diese Hypothese entfernt sich insofern am wenigsten weit von der von uns vorgetragenen, als sie ebenfalls im Sinne HAECKELS eine der Invaginationsgastrula entsprechende „Archigastrula“ als Stammform annimmt. Aus einer ursprünglich gleichmäßig nach allen Richtungen rotierenden, kugelförmigen, Volvox-ähnlichen Protozoenkolonie wurde eine Form mit bestimmter Bewegungsrichtung. Wie ernährte sich dieselbe? „Anfangs wahrscheinlich durch Aufnahme kleinster Nahrungspartikelchen und durch intracelluläre Verdauung, an der sich zunächst sämtliche Zellen der Kolonie in gleicher Weise beteiligten. Als aber eine Hauptachse als die Bewegungsrichtung bestimmend in Funktion trat, sahen sich die Zellen nach ihrer Lage zu den Polen dieser Hauptachse bezüglich der Nahrungsaufnahme unter verschiedenen Bedingungen. Läßt man eine derartige Larvenform in Seewasser schwimmen, in welchem Karminkörnchen suspendiert sind (wir verwendeten hierzu vor Jahren die Larve von *Oscarella* — es ist dies ein Schwamm —) so bemerkt man Folgendes. Daß die Karminkörnchen von den Zellen der Larve aufgenommen wurden, war nie zu bemerken; die *Oscarella*-Larve scheint in dem blastosphaera-ähnlichen Stadium noch nicht Nahrung aufzunehmen. Aber es zeigte sich, daß die Karminkörnchen in der Nähe des vorderen Poles durch die Strömungen im Wasser weggeschleudert wurden. An den hinteren Pol wurden sie dagegen durch den bei der Vorwärtsbewegung der Larve erzeugten Rückstoß des Wassers herangedrängt. Hier ist sonach die Stelle gegeben, welche für die Nahrungsaufnahme am günstigsten sein mußte. Wenn sich an dieser Stelle eine Abflachung entwickelte, so wurde der tote Raum, in welchem sich Nahrungspartikel ansammeln konnten, vergrößert. Noch günstiger mußte es aber sein, wenn sich eine, wenn auch nur flache Einbuchtung ausbildete. Daß die später eintretende weitere Vertiefung von Vorteil sein mußte, ist zuzugeben. Hier handelt es sich um die mit der ersten auftretenden Abflachung oder schwachen Einbuchtung verbundenen Vorteile. Diese Anfänge des Urdarms waren ein Fangraum für Nahrungspartikelchen.“

Unsere eigene, oben dargelegte Suggestion unterscheidet sich von der Idee von KORSCHULT und HEIDER, die zweifellos vieles für sich hat, vornehmlich dadurch, daß wir den vorderen Pol der Blastaea als den sich invaginierenden Nahrungspol annehmen. Wir berufen uns dabei auf die analoge Erscheinung bei freischwimmenden Flagellaten und heterotrichen Infusorien, bei denen ebenfalls der vordere Pol der Nahrungspol ist und bei denen die lokomotorischen Organellen zugleich nutritorische sind, indem sie die Nahrungspartikelchen in das entweder genau am vorderen Pole oder etwas asymmetrisch daneben liegende Cytostoma hineinstrudeln. (Man vergleiche die Abbildungen von Monadinen mit vorderständigem Flagellum und Cytopharynx sowie diejenigen von holotrichen Infusorien mit Cytostoma

und Cytopharynx am vorderen Körperpole im ersten Bande dieses Handbuchs.) Was für diese einzelnen Protozoenindividuen Gültigkeit hat, darf doch wohl auch für eine ganze vorderständige Gruppe von Protozoenindividuen als gültig angenommen werden. Bei den Larven, die sich mittels der Cilien und Flagellen nur bewegen, aber keine Nahrung aufnehmen, werden im Wasser suspendierte Fremdpartikelchen selbstverständlich an der Oberfläche des Körpers vorbei nach hinten gestrudelt.



BÜTSCHLI'S Placulatheorie (1884) geht nicht von einer kugeligen, sondern einer tafelförmigen einschichtigen Kolonie aus, wie sie bei Flagellaten, z. B. *Gonium*, vorkommt. Sie nimmt an, „daß eine solche Urform zunächst durch Querteilung ihrer Zellen zweischichtig wurde (Fig. 89 A—C) und daß die eine der so gebildeten Zelllagen sich zur ernährenden, die andere zur schützenden und bewegendenden differenzierte. Ein ähnliches plattenartiges

Fig. 89. A—E. Schematische Darstellung der Entstehung einer gastraeaartigen Urform aus einer Protozoenkolonie nach den Ideen von O. BÜTSCHLI, 1884. A, B, C Vom Acht-Blastomerenstadium (A) bis zur zweischichtigen Platte (Placula). D, E Einkrümmung der zweischichtigen plattenförmigen Kolonie zur Gastraea. Die helleren Zellen liefern oder bilden das Ektoderm, die dunkler gehaltenen das Entoderm.

Stadium kann vorübergehend in der Ontogenese einzelner Metazoen-gruppen (bei gewissen Nematoden, Oligochäten, Ascidien) auftreten. „Wenn nun eine derart gebaute, zweischichtige, plattenartige Form sich so bewegte, daß die ernährende Zelllage gegen den Boden gerichtet war und hier ihre Nahrung suchte, so mußte es von Vorteil sein, wenn der Organismus sich allmählich zu einer uhrglasartigen Form (Fig. 89 D) mit nach unten gerichteter Konkavität einkrümmte. Jetzt vermochte er sich über auf

dem Boden liegende Nahrungskörper herabzusenken, sie einzufangen und in seiner Höhle festzuhalten. Eine stärkere Einkrümmung konnte dann zur typischen Gastraeaform (Fig. 89 E) führen, in deren Gastralhöhle die Nahrungskörper durch den Urmund eingeführt und worin sie weiter verarbeitet wurden.“ Gegen diese Hypothese wurde hauptsächlich geltend gemacht, daß sich bei den Tieren, in deren Entwicklung ein zweischichtiges, placulaähnliches Stadium vorkommt, dieses Stadium erst sekundär aus einem hohlkugelförmigen durch Abflachung herauszubilden pflegt.

Ungefähr gleich alt, wie HAECKELS Gastraeatheorie, ist RAY LANKESTERS Planulatheorie (1873, 1877). Auch diese hat viele Beachtung und manche Anhänger gefunden.

LANKESTER stellt sich den Ausgangspunkt der niedersten Metazoen als eine kuglige kompakte Kolonie von Protozoenzellen vor, deren freie äußere Oberfläche durch Aufnahme von Nahrungspartikelchen nach Amöbenart die tierische Ernährung vermittelte (Fig. 90). Diesem phylogenetischen

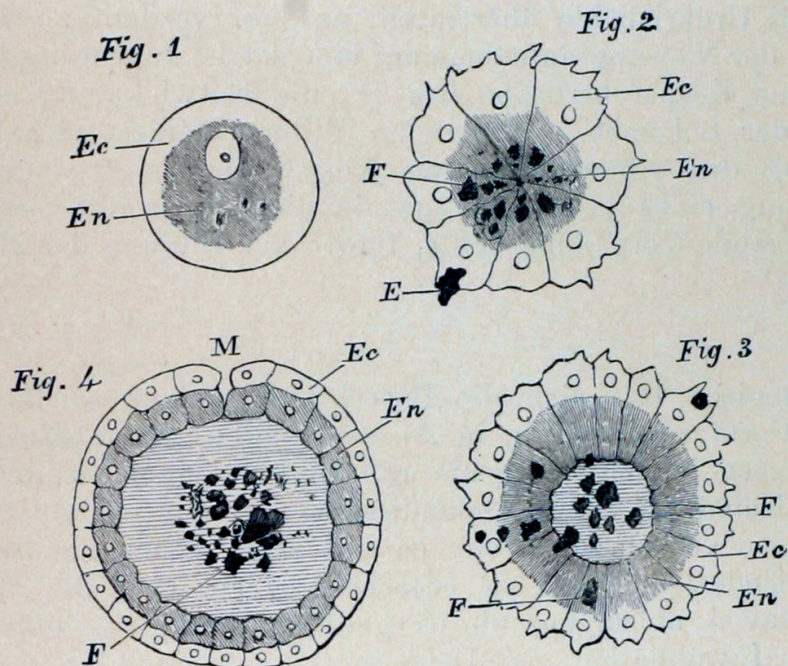


Fig. 90. Fig. 1—4. Vier Durchschnittsbilder zur Veranschaulichung der Bildung einer Gastrula durch Delamination. Nach LANKESTER aus BALFOUR. Fig. 1 Ei. Fig. 2 Ein Stadium in der Furchung. Fig. 3 Beginn der Delamination nach dem Auftreten einer zentralen Höhlung. In Fig. 1, 2 und 3 bedeutet *Ec* Ektoplasma, *En* Entoplasma. In Fig. 4 bedeutet *Ec* Ektoderm, *En* Entoderm.

Stadium soll in der Ontogenie die Morula oder der Maulbeerkeim¹⁾ entsprechen. Indem sich im Zentrum der Kolonie Flüssigkeit ansammelte, wurde die kompakte Kolonie zu einer Blase mit zentralem Hohlraum und aus einer einschichtigen Lage von Zellen gebildeter Wand. Ontogenetisches Stadium der Blastula mit Blastocöl. Sodann nahmen die inneren und äußeren Partien der Zellen eine verschiedene Struktur und verschiedene Eigenschaften an, wie das etwa bei der Bildung der Blastula von *Geryonia* (siehe den Abschnitt über Furchung und Gastrulation)

¹⁾ Die „Morula“ entspricht einer jungen Blastula ohne zentralen Hohlraum (d. h. noch ohne Blastocöl).

der Fall ist. „Die Flüssigkeit im Hohlraum der Blastula war sehr wahrscheinlich besonderer Art und es mögen zugleich mit Absonderungsprodukten, die von den Zellen gebildet wurden, auch unverdaute Nahrungspartikelchen durch die Substanz der Zellen hindurch in das Blastocöl hineingelangt und hier aufgelöst worden sein, so daß das Blastocöl anfangs, eine verdauende Funktion zu bekommen.“ Nun teilten sich die Zellen, wenn auch vielleicht nicht alle, je in eine äußere und eine innere Zelle. Durch diesen Vorgang, welcher der bei gewissen Metazoen vorkommenden ontogenetischen Entstehung der Gastrula aus der Blastula durch Delamination entsprechen soll, kam ein zweiblättriger Keim (Diblastula) (Fig. 90, 4) zustande, der aber fortfuhr, sich in der bisherigen Weise, durch Aufnahme fester Nahrung von seiten der nackten äußeren oder Ektodermzellen zu ernähren. Die innere Zellschicht, das Entoderm, bildete nun eine besondere Wand um das zur Urdarmhöhle oder Archenteron gewordene Blastocöl. Nun ist nach LANKESTER weiter anzunehmen, daß in dem Maße als die Differenzierung der äußeren und inneren Zellschicht Fortschritte machte, sich die Aufnahme der Nahrung schließlich auf eine einzige Stelle der Oberfläche beschränkte und daß an dieser Stelle feste Nahrungspartikelchen durch das weiche Protoplasma in die Urdarmhöhle übertraten, um hier verdaut zu werden. Die Lokalisation der Nahrungsaufnahme auf eine solche Ingestionsstelle machte die allgemeine Körperoberfläche frei für die Entwicklung eines sich in den Dienst der Lokomotion stellenden Wimperkleides. Ein Durchbruch der Wandung des schlauchförmigen Körpers an jener Ingestionsstelle, die Herstellung eines offenen Weges in die bereits aktiv sezernierende und absorbierende Verdauungshöhle, führte zur Bildung der Mundöffnung.

Morphologisch läßt sich die Berechtigung einer solchen oder ähnlichen Hypothese nicht völlig in Abrede stellen, da tatsächlich bei gewissen Metazoen in der Ontogenie die Bildung einer zweiblättrigen geschlossenen Keimblase durch Delamination und das sekundäre Auftreten des Blastoporus vorkommt. Wenn es sich aber darum handelt, zwischen den verschiedenen Theorien zu entscheiden, so wird die Entscheidung wesentlich davon abhängen, ob es gelingen wird, die ontogenetischen Prozesse der Invagination und Delamination voneinander abzuleiten und den einen Prozeß gegenüber dem anderen als den ursprünglicheren nachzuweisen. Ein solcher Nachweis ist aber zurzeit noch nicht in ganz sicherer Weise erbracht worden, wenn auch vieles dafür spricht, daß die Invagination der ursprüngliche Bildungsmodus des zweiblättrigen Keimes ist.

Dagegen scheinen uns biologisch-physiologische Ueberlegungen stark zugunsten irgendeiner Form der Gastraeatheorie zu sprechen, die in einer unser Erklärungsbedürfnis vorläufig befriedigenden Weise die Bildung der Gastraea durch fortschreitende Arbeitsteilung innerhalb einer Protozoenkolonie erklärt, wobei ein jedes Stadium ungezwungen an das vorhergehende anknüpft und ihm gegenüber als eine nützliche Verbesserung erscheint.

Gesucht und erkünstelt erscheint uns in der Planulatheorie die Annahme der Bildung einer zentralen Verdauungshöhle, in welche die Nahrungspartikelchen durch die phagocytären Zellenleiber der Körperwand hindurch hineinwandern. Die Exkremente mußten also doch wieder durch die Körperwand hindurch nach außen zurückwandern. Auch die

System der Biologie in Forschung und Lehre.

S. Tschulok, Zürich. 1910.

Eine historisch-kritische Studie. Von Dr. phil. Preis: 9 Mark.

Inhaltsübersicht: I. Die Entwicklung der Anschauungen über Aufgabe und System der Botanik und Zoologie, vom 16. Jahrhundert bis 1869. 1. Die Botanik bis 1732. — 2. Die Botanik von 1732 bis 1813. — 3. Das System A. P. De Candolle (1813—1842). — 4. M. J. Schleiden. — 5. Die zoologischen Systeme bis 1866. — 6. E. Häckels System der Biologie (1866—69). — II. Versuch eines neuen Systems der biologischen Wissenschaften. 7. Verschiedene Arten die Biologie zu klassifizieren. — 8. Einteilung der Biologie nach der Forschungsmethode. — 9. Einteilung der Biologie in Biotaxie und Biophysik. — 10. Die sieben materiellen Gesichtspunkte der biologischen Forschung. — 11. Allgemeine und spezielle Botanik, resp. Zoologie. — 12. Zusammenfassung. Einwände. — 13. Kritik einiger Systeme der Biologie (aus der Zeit von 1853—1907). — III. Die Auffassung vom System der Biologie in den modernen Lehrbüchern. 14. Die modernen Lehrbücher der Botanik. — 15. Der Begriff der „Biologie im engeren Sinne“. — 16. Einige zoologische Lehrbücher. — Anmerkungen und Zusätze.

Zeitschrift f. allgem. Physiologie. 1911, Bd. XI, Heft 4:

Unsere Erkenntnis der Welt kann nur fortschreiten, wenn die Schlußfolgerungen der Vernunft und die naturwissenschaftliche Erfahrung Hand in Hand gehen. Der Naturforscher braucht neben seinen Experimenten und Beobachtungen eine Philosophie, nicht jene, wie der Verf. sagt, für welche man sich an einer besonderen Fakultät immatrikulieren lassen muß, sondern jene Art der Philosophie, die jeder Naturforscher in der Brust tragen muß, um sich in jedem Falle klar die Frage vorlegen zu können. Wonach forsche ich? Was will ich an den Lebewesen wahrnehmen? Was will ich meinen Schülern von den Lebewesen mitteilen?

Der Verf. sucht diese allgemein gültige Erkenntnis für das System der Biologie zu verwerten. An einem Ausschnitte aus der Geschichte zeigt er, wie verschieden die Aufgabe und das System der Botanik und Zoologie in verschiedenen Zeiten aufgefaßt wurden, er berücksichtigt auch die Entwicklung der Lehrstühle für Botanik und Zoologie an den Universitäten und die Entwicklung der wichtigsten Lehr- und Handbücher.

Derjenige, welcher sich für die Genese der modernen Lehrbücher der Botanik, Zoologie und Biologie interessiert, wird mit Vergnügen den Ausführungen des Autors im dritten und letzten Abschnitte seines Buches folgen. Es ist außerordentlich wichtig, zu sehen, wie selbst die modernsten Lehrbücher von traditionellen Elementen durchsetzt sind, Elementen, welche früheren Phasen der Entwicklung entstammen.

In unserer Zeit, welche durch eine geistige Ueberproduktion und einen Niedergang allgemeiner Problemstellung charakterisiert ist, ist das vorliegende Buch freudig zu begrüßen. Seine Lektüre sei jedem Forscher warm empfohlen.

Fröhlich (Bonn).

Der Aufbau der Skeletteile in den freien Gliedmassen der Wirbeltiere.

Untersuchungen an urodelen Amphibien. Von Dr. H. von Eggeling, a. o. Professor und Prosektor an der anatom. Anstalt der Universität Jena. Mit 4 lithographischen Tafeln, 147 Figuren im Texte. 1911.

Preis: 16 Mark.

Die Kenntnis von einzelnen Punkten aus der allgemeinen Lehre vom Aufbau der knöchernen Skeletteile ist eine ungenügende und auch in der umfangreichen Literatur ist noch keine ausreichende Belehrung darüber zu finden. Dies veranlaßte die jetzt vorliegenden Untersuchungen, die bei den Urodelen begonnen wurden. Hier bereits ergaben sich so wichtige Aufklärungen bezüglich der aufgestellten Fragen, daß der Verfasser es als berechtigt ansehen durfte, die gewonnenen Ergebnisse in selbständiger Form vorzulegen. Von einer beabsichtigten Ausdehnung der Untersuchungen auch auf die einzelnen Gruppen der höheren Wirbeltiere sind noch mancherlei interessante Ergebnisse für diese Fragestellung zu erwarten. Zoologen und Anatomen werden deshalb mit besonderem Interesse diese Veröffentlichung aufnehmen.

Plasma und Zelle. Eine allgemeine Anatomie der lebendigen Masse. Bearbeitet von Prof. Dr. Martin Heidenhain in Tübingen.

Erste Lieferung: **Die Grundlagen der mikroskopischen Anatomie, die Kerne, die Zentren und die Granulalehre.** Mit 276 teilweise farbigen Abbildungen im Text. 1907. Preis: 20 Mark, geb. 21 Mark 50 Pf.

Zweite Lieferung: **Die kontraktile Substanz, die nervöse Substanz, die Fadengerüstlehre und ihre Objekte.** Mit 1 lithographischen Tafel und 395 teilweise farbigen Abbildungen im Text. 1911. Preis: 23 Mark, geb. 24 Mark 50 Pf.

Lehrbuch der vergleichenden Entwicklungsgeschichte der wirbellosen

Tiere. Von E. Korschelt, Prof. in Marburg, und K. Heider, Prof. in Innsbruck. Allgemeiner Teil. Erste und zweite Auflage.

Erste Lieferung. Mit 318 Textabbildungen. 1902. Preis: 14 Mark.

Inhalt: Erster Abschnitt. Experimentelle Entwicklungsgeschichte. 1. Kapitel. Der Anteil äusserer Einwirkungen auf die Entwicklung. 2. Kapitel. Das Determinationsproblem. 3. Kapitel. Ermittlungen der im Innern wirkenden Entwicklungsfaktoren. Zweiter Abschnitt: Die Geschlechtszellen, ihre Entstehung, Reifung und Vereinigung. 4. Kapitel. Ei und Eibildung. 5. Kapitel. Sperma und Spermatogenese.

Zweite Lieferung. Mit 78 Textabbildungen. 1903. Preis: 5 Mark 50 Pf.

Inhalt: 6. Kapitel. Eireifung, Samenreifung und Befruchtung. Anhang: Theorie der Vererbung.

Dritte Lieferung. Mit 104 Textabbildungen. 1909. Preis: 4 Mark 50 Pf.

Inhalt: III. Abschnitt. Furchung und Keimblätterbildung. 7. Kapitel. Die Furchung.

Vierte Lieferung. 1. Hälfte. Mit 217 Textabbildungen. 1910. Preis: 7 Mark 50 Pf.

Inhalt: 8. Kapitel. Keimblätterbildung.

Vierte Lieferung. 2. Hälfte. Mit 328 Abbildungen im Text. 1910. Preis: 11 Mark.

Inhalt: 9. Kapitel. Ungeschlechtliche Fortpflanzung.

Archiv für Entwicklungsmechanik. XIV, 1/2 (über Lfg. 1):

... Korschelt und Heider ist es nun zu danken, daß die deutsche Sprache es ist, die das erste, die Ergebnisse der drei Hauptabschnitte der jetzigen Entwicklungsmechanik umfassende, objektiv geschriebene Werk und zwar in vorzüglicher, klarer Darstellung besitzt. Zugleich muß es den Autoren oder dem Autor besonders hoch angerechnet werden, daß er viel Mühe und Sorgfalt darauf verwendet hat, vieles bisher beständig falsch Berichtete durch seine Darstellung zu berichtigen und manches von den Spezialarbeitern beständig Uebersehene aufzufinden und an der richtigen Stelle dem Ganzen einzufügen. ... Wir dürfen uns von dem wertvollen Werke sowohl eine wesentlich Klärung der Ansichten, als auch eine weitergehende Förderung unserer Disziplin versprechen: nämlich einen Zuwachs an gut informierten Mitarbeitern sowie einen Zuwachs an Interesse und Achtung bei den Vertretern der anderen biologischen Forschungsrichtungen. Es ist daher dem Buche die weiteste Verbreitung zu wünschen.

W. Roux.

Bau und Entstehung der Wirbeltiergelenke.

Eine morphologische und histogenetische Untersuchung von Dr. med. Wilh. Lubosch, a. o. Prof. d. Anatomie a. d. Universität Jena. Mit 230 Abbildungen im Text und 10 lithogr. Tafeln. 1910. Preis: 27 Mark.

Anatom. Anzeiger Bd. 38, Nr. 2/3 vom 10. Januar 1911:

... Das Werk ist sehr klar und fließend geschrieben und mit zahlreichen schönen Abbildungen im Text und prachtvollen farbigen Tafeln glänzend ausgestattet. Die gesamte Literatur ist in umfassender Weise umsichtig und kritisch verarbeitet. ... Man kann es eher als einen Nutzen des vorliegenden außerordentlich fleißigen und gewissenhaften Werkes betrachten, daß durch dasselbe klarer gezeigt wird, wo und wie die entwicklungsmechanische Forschung auf dem Gebiete der Gelenkbildung einzusetzen hat, und wie viel da noch zu tun übrig bleibt.

Strasser.

Vergleichende Anatomie des menschlichen Gebisses und der Zähne

der Vertebraten. Von Dr. Paul de Terra, vorm. Zahnarzt in Zürich. Mit 200 Textabbildungen. 1911. Preis: 12 Mark, geb. 13 Mark.

Anatom. Anzeiger Bd. 38, Nr. 12/13 vom 17. Februar 1911:

Verf., früher Zahnarzt in Zürich, füllt eine in der deutschen odontologischen Literatur seit langem empfundene Lücke aus, indem er eine umfassende Darstellung des Zahnsystems der Wirbeltiere auf phylogenetischer Basis gibt. Angesichts der zahlreichen, noch strittigen Fragen auf diesem Gebiete ist es schwierig, schon heute ein eigentliches Lehrbuch zu schreiben. Trotzdem hat der Verf. versucht, eine zusammenhängende und übersichtliche Darstellung der neueren und neuesten Forschungsergebnisse zu liefern. Dieser Versuch ist als ein wohlgelungener zu bezeichnen.

Lehrbuch der vergleichenden Entwicklungsgeschichte der niederen

Wirbeltiere in systematischer Reihenfolge und mit Berücksichtigung der experimentellen Embryologie. Von Dr. Heinrich Ernst Ziegler, Prof. an der Universität Jena (jetzt in Stuttgart). Mit 327 Abbildungen im Text und einer farbigen Tafel. 1902. Preis: 10 Mark, geb. 11 Mark.

